

БИБЛИОТЕКА КИНОМЕХАНИКА

И. М. БОЛОТНИКОВ

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ИСКУССТВО“ МОСКВА 1971



За последнее десятилетие во многом изменился подход к проектированию и конструктивному оформлению громкоговорителей, расширились и усложнились методы измерений, произошла смена ряда понятий и определений.

Вместе с этим существенно расширилась область применения кинотеатральных громкоговорителей, охватывающая уже не только звуковоспроизведение фонограмм кинофильмов различного формата, но и высококачественное звукоусиление в больших залах различного назначения.

Книга написана с учетом всех этих изменений и рассчитана на технический персонал, обслуживающий киноустановки различной вместимости и звуковую аппаратуру различного назначения. Содержащийся в ней описательный и справочный материал может быть полезным также и инженерно-техническим работникам, занятым эксплуатацией громкоговорителей.

Автор выражает искреннюю благодарность Н. Т. Гордиенко, Е. В. Сартори, Н. А. Мастерковой, Р. Л. Иман, И. А. Храбан и другим товарищам за советы в процессе работы над рукописью и помощь в подборе иллюстративного материала.

* * *

Отзывы просим направлять по адресу: Москва, К-51, Цветной бульвар, 25, издательство «Искусство»

И. М. БОЛОТНИКОВ

ГРОМКОГОВОРТЕЛИ

1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ

Громкоговоритель представляет собой сочетание электроакустического преобразователя с акустическим оформлением, с которым этот преобразователь работает.

Сам преобразователь является главным элементом конструкции громкоговорителя, а его акустическое оформление — вспомогательным. В зависимости от условий и задач, один и тот же преобразователь может сочетаться с различными по типу акустическими оформлениями. В связи с этим в литературе весьма часто электроакустический преобразователь называют громкоговорителем, а его акустическое оформление — внешним оформлением громкоговорителя.

Однако в кинотехнике принято преобразователь называть головка громкоговорителя, или просто головка, а под громкоговорителем понимать всю конструкцию в целом, то есть головка плюс ее акустичес-

кое оформление. Этой терминологии мы и будем придерживаться далее.

Любой электроакустический преобразователь, вне зависимости от принципа его работы, должен обеспечить преобразование колебаний подведенного к его входу электрического тока в соответствующие им колебания частиц среды, в нашем случае — воздуха, на его выходе.

В подавляющем большинстве случаев такое преобразование осуществляется двумя последовательными этапами. Сначала колебания электрического тока преобразуются в механические колебания системы, а затем механические колебания системы преобразуются в акустические колебания частиц среды. Следовательно преобразователь состоит из двух как бы последовательно соединенных звеньев — электромеханического и механоакустического, осуществляющих описанные выше преобразования. Такая на первый взгляд простая схема преобразователя на практике выполняется как единая конструкция, в которой оба звена не только тесно связаны друг с другом, но и взаимозависимы друг от друга.

§ 1. Типы громкоговорителей

Тип громкоговорителя может определяться по различным особенностям или признакам, его характеризующим. При этом вне зависимости от конкретных инженерных решений конструкций громкоговорителей данного типа характерный признак для всех них остается неизменным. Поэтому принято обычно в полное наименование громкоговорителя включать и признаки, определяющие его тип. Так как мы уже установили, что головка громкоговорителя является его главным элементом, то прежде всего типы громкоговорителя принято различать по видам электроакустического преобразования, использованному для создания его головки. По этому признаку различают следующие основные типы громкоговорителей.

Электростатические (конденсаторные) громкоговорители, в которых электроакустическое преобразование осуществляется путем использования сил взаимного притяжения или отталкивания обкладок (электродов) конденсатора, заряжаемого переменным напряжением звуковой частоты, подводимого от оконечного каскада усили-

теля (рис. 1, а). Один из электродов конденсатора закреплен неподвижно, другой может перемещаться. Колебания подвижного электрода приводят в движение соприкасающиеся с ним частицы воздуха — возникает звуковая волна. Подвижный электрод осуществляет механоакустическое преобразование.

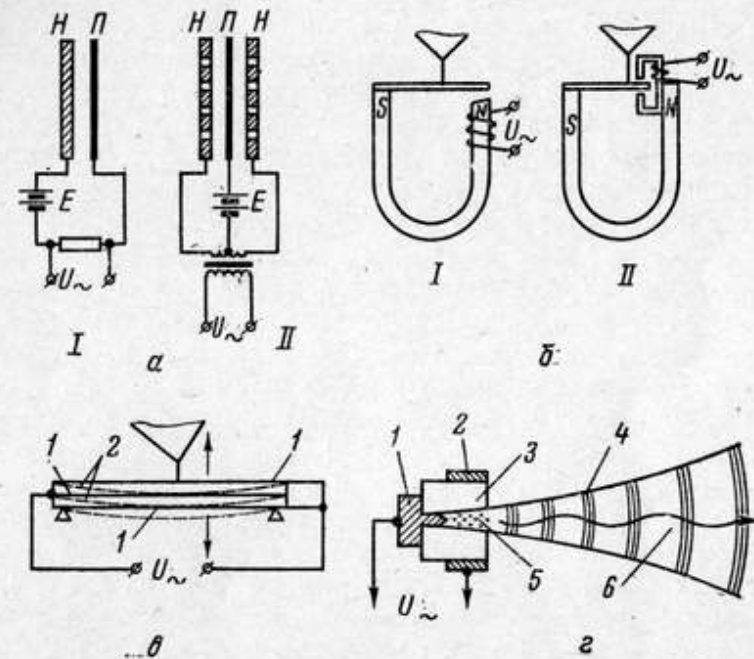


Рис. 1. Схемы громкоговорителей:

а — электростатический громкоговоритель (Н — неподвижный электрод; П — подвижный электрод; I — несимметричная, одноконтная схема; II — дифференциальная, двухконтная схема); б — электромагнитный громкоговоритель (I — простейшая схема; II — дифференциальная схема); в — пьезоэлектрический громкоговоритель (1 — электроды; 2 — склеенные пьезопластины); г — термоионный громкоговоритель (1 — внутренний электрод; 2 — внешний электрод; 3 — кварцевая ячейка; 4 — рупор; 5 — ионизированный воздух; 6 — звуковая волна)

Электромагнитные громкоговорители, в которых используется сила, воздействующая на якорь из мягкой стали со стороны электромагнита. Электромагнит питается током звуковой частоты, в силу чего на якорь действует переменная сила, заставляющая его колебаться в соответствии с изменением тока в обмотке электромаг-

нита. Механические колебания диафрагмы, жестко скрепленной с якорем, создают звуковые волны (рис. 1, б).

Пьезоэлектрические громкоговорители, в которых для приведения в колебательное движение диафрагмы используется так называемый обратный пьезоэлектрический эффект. Он состоит в том, что пластинки, вырезанные особым образом из кристаллов некоторых солей (сегнетовая, дигидрофосфат аммония, керамика титаната бария и др.), под действием приложенного к ним электрического напряжения деформируются, в частности изгибаются (рис. 1, в). Для громкоговорителей чаще всего пытались применять пластинки из кристаллов сегнетовой соли, обратный пьезоэлектрический эффект которой выражен наиболее сильно.

Термоионные громкоговорители (ионофоны), использующие эффект создания ионного облака вблизи раскаленного электрода, находящегося под высоким потенциалом. Пульсация ионного облака, происходящая при модуляции звуковой частоты высокочастотного (мегагерцы) напряжения, приложенного к электродам, вызывает колебания частиц воздуха, окружающего ионное облако, то есть появление звуковой волны (рис. 1, г).

Электродинамические громкоговорители, называемые часто динамиками, представляющие собой электромеханические преобразователи индуктивного типа, в которых механические колебания диафрагмы возбуждаются силой взаимодействия между проводником с током (проводник питается током звуковой частоты) и постоянным магнитным полем.

Из всех перечисленных типов громкоговорителей не только в звуковом кино, но и в системах звукоусиления и звуковой информации, а также радиовещания и телевидения нашли исключительное применение только громкоговорители электродинамического типа. Относительная простота конструкции, высокие качественные показатели, хорошая электрическая, механическая и эксплуатационная надежность, способность воспроизводить с малыми искажениями сравнительно большие звуковые мощности и терпеть перегрузки, способность хорошо переносить температурные и атмосферные влияния — вот основные факторы, обеспечившие прочные позиции электродинамического громкоговорителя в различных областях использования. Все остальные типы оказались с ним неконкурентоспособны.

Помимо деления громкоговорителей по типам электроакустического преобразования принято различать их по способу излучения звука и по излучаемой полосе частот.

По первому признаку громкоговорители разделяются на громкоговорители прямого излучения и рупорные громкоговорители. По второму признаку громкоговорители могут быть широкополосными и узкополосными.

Громкоговорителями прямого излучения принято называть такие громкоговорители, головка которых имеет диафрагму*, непосредственно соприкасающуюся с окружающей средой, воздухом и возбуждающей в ней непосредственно звуковые колебания.

У рупорного громкоговорителя диафрагма возбуждает колебания частиц воздуха на входе некоторого устройства — рупора, представляющего собой трубу переменного сечения, возрастающего по определенному закону. Выход этого устройства является вторичным излучателем, возбуждающим колебания в окружающем воздухе.

Широкополосными громкоговорителями принято называть такие громкоговорители, головка которых воспроизводит всю полосу звуковых частот, то есть одновременно и низкие и высокие частоты. Если головка громкоговорителя воспроизводит сознательно ограниченную полосу частот (только низкие, только высокие), то они называются узкополосными. Как правило, из узкополосных громкоговорителей или головок комбинируют агрегат так, чтобы суммарно получить воспроизведение всей полосы частот. На практике как головки, так и громкоговорители принято называть в соответствии с их основным назначением — низкочастотными или высокочастотными (сокращенно — н.-ч. и в.-ч. соответственно). Сам же агрегат в этом случае называют **двухполосным громкоговорителем****.

В кинотеатральной звуковой аппаратуре применяются электродинамические громкоговорители как прямого излучения, так и рупорные. Широкополосные громкоговорители применяются широко в передвижных комплектах киноаппаратуры. В стационарных комплектах звуковоспроизводящей

* В инженерной практике конусную диафрагму головки прямого излучения принято называть диффузором. Поэтому как головки, так и громкоговорители иногда называют диффузорными.

** В литературе иногда такие громкоговорители называются многозвенными агрегатами (например, двухзвенный) или сложными акустическими системами.

аппаратуры главным образом нашли применение двухполосные громкоговорители. В последующих главах о применяемых типах громкоговорителей и их особенностях будет рассказано подробно.

Здесь же мы рассмотрим лишь, как работает головка электродинамического типа и какими показателями оценивается качество громкоговорителя.

§ 2. Принцип действия головки громкоговорителя электродинамического типа

Любой громкоговоритель, вне зависимости от его типа, имеет два элемента: головку и оформление, то есть то устройство, в котором (или на которое) работает эта головка. Оформление громкоговорителя играет подсобную роль,

так как призвано только улучшить акустические условия работы преобразователя, каковым и является сама головка. Работа головки любого электродинамического громкоговорителя (прямого излучения или рупорного) основана на использовании электродинамической силы, действующей на проводник с током в магнитном поле.

Рассмотрим, что будет происходить с проводником при пропускании через него электрического тока, если проводник поместить в магнитном поле.

Предположим, что магнитное поле создается магнитом, у которого один полюс (например, северный — N) имеет вид круглого стержня, входящего в отверстие второго полюса (южного — S), представ-

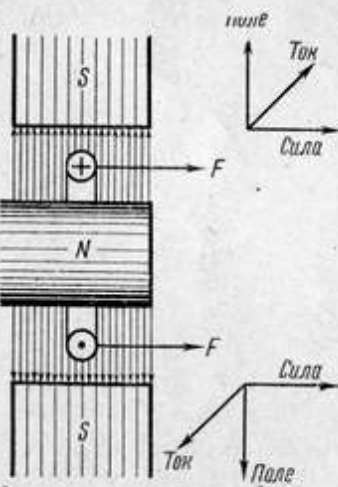


Рис. 2. Принцип работы электродинамического громкоговорителя:

+ — от наблюдателя;
- — к наблюдателю

ляющего собой плоскую пластину; разрез такого магнита приведен на рис. 2. В круговую щель, образуемую полюсами (диаметр стержня меньше диаметра отверстия), вложен виток из проводника, по которому протекает ток; сечение проводника также показано на рис. 2. В соответствии с принятым в электротехнике правилом ток, уходящий от

наблюдателя, обозначен крестиком (+); ток, идущий на него, — точкой (-). Так, на рисунке ток в верхнем сечении проводника уходит от наблюдателя за плоскость чертежа, в нижнем — идет на него из-за плоскости чертежа.

В результате взаимодействия между текущим по проводнику током и магнитным полем возникает электродинамическая сила, стремящаяся выбросить виток из поля.

Направление действия электродинамической силы, а следовательно, и смещение проводника определяются известным в электротехнике «правилом левой руки»*. Применяя это правило, нетрудно убедиться, что в указанном примере виток будет смещаться к правому краю магнитной системы. Совершенно очевидно, что, меняя направление тока или магнитного поля на обратное изображенному на рис. 2, мы изменим направление силы также на обратное, и виток начнет перемещаться к левому краю зазора магнитной системы. Если мы создадим возможность свободного (без трения о стенки зазора) перемещения витка в зазоре, а через виток пропустим ток, переменный по величине и направлению, то электродинамическая сила, воздействующая на виток, будет также переменной по величине и направлению. В этом случае виток в зазоре начнет совершать колебательное движение, период которого будет равен периоду питающего тока, а размах колебаний будет равен величине тока, действующего в каждый данный момент.

Если теперь виток соединить жестко с какой-либо поверхностью и пропустить через него ток звуковой частоты, то колебания витка приведут в колебательное движение и связанную с ним поверхность. Последняя, перемещаясь в окружающем воздухе, вызовет в нем колебания, воспринимаемые ухом наблюдателя как звуковые колебания той или иной частоты.

* Это правило гласит: «Если три первых пальца левой руки расставить под прямым углом, направив указательный палец по направлению магнитных силовых линий, а средний — по направлению тока, то большой палец укажет направление действующей на проводник силы».

§ 3. Основные показатели качества громкоговорителя

Для громкоговорителя, как и для любого другого прибора или аппарата, необходимо иметь ряд объективных (измеряемых приборами) показателей, позволяющих определить его качество или сравнить между собой различные образцы. Рассмотрим основные качественные показатели громкоговорителя, приводя одновременно краткие характеристики условий их измерения. Основные определения и измерительные процедуры регламентированы ГОСТом 16122—70 «Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний и измерений». Применительно к кинотеатральным громкоговорителям с середины 1968 и начала 1969 года в дополнение к указанному ГОСТу начинают действовать ведомственные нормалы Норм-кино 219—67 и Норм-кино 127—67, регламентирующие не предусмотренные в нем измерительные процедуры. Эти же качественные показатели, как и методы их определения, относятся и к головкам громкоговорителей, если они измеряются отдельно.

Полное электрическое сопротивление

Полное электрическое сопротивление громкоговорителя есть отношение напряжения на его входных зажимах (клеммах) к протекающему через него току. По своему характеру оно является комплексным сопротивлением, то есть сопротивлением, имеющим активную (омическую) и реактивную (индуктивную и емкостную) составляющие части. В связи с этим величина полного электрического сопротивления громкоговорителя изменяется в зависимости от частоты. В практических условиях достаточно измерить частотную зависимость модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя $|Z|$, получив график изменения величины сопротивления в омах (рис. 3).

Если в состав громкоговорителя входят дополнительные элементы (разделительный фильтр, согласующий трансформатор), то измерение модуля полного электрического сопротивления должно производиться на входных зажимах всей схемы. В кинотеатральных громкоговорителях, как правило, дополнительные элементы монтируются внутри акустического оформления, и клеммы или колодка подсо-

единения линий от усилителя являются входными зажимами всей схемы.

Частотная зависимость модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя позволяет:

- 1) определить величину номинального сопротивления громкоговорителя, которое указывается в его паспорте (фирменной бирке, описании, каталоге и т. п.);
- 2) выявить характер изменения его в рабочей полосе частот и оценить степень нарушения допусков на рассогласование, принятых для комплектуемого с ним усилителя;

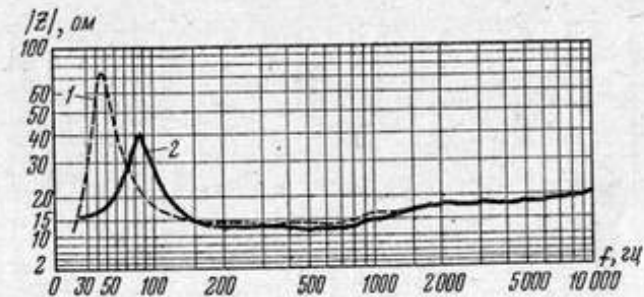


Рис. 3. Частотная характеристика модуля полного сопротивления громкоговорителя:

1 — головка 4А-32; 2 — головка 4А-32 в закрытом ящике

- 3) оценить приближенно влияние изменения $|Z|$ на частотную характеристику излучаемой громкоговорителем мощности.

Номинальное сопротивление громкоговорителя есть величина активного сопротивления, которым замещается громкоговоритель при измерении электрической мощности, потребляемой им от источника сигнала. В качестве номинального сопротивления принимается наименьшее значение модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя в диапазоне частот выше основного резонанса. Следовательно, в рабочем диапазоне частот величина модуля полного электрического сопротивления должна быть равна или больше номинального сопротивления громкоговорителя. Чем меньше увеличение $|Z|$, тем меньше потери излучаемой громкоговорителем мощности и тем меньше искажается воспроизводимый им звуковой сигнал. Поэтому, сравнивая громкоговорители между собой по характеру частотной зависимости модуля их полных электрических сопротивлений, можно сразу предсказать качество их работы. Указанное обстоятельство свя-

зано с особенностями схем оконечных каскадов усилителей, которые будут нами более подробно рассмотрены в одной из последующих глав.

Номинальный (воспроизводимый) диапазон частот

Это диапазон звуковых частот, который может эффективно воспроизводиться громкоговорителем. Для определения номинального диапазона частот громкоговорителя

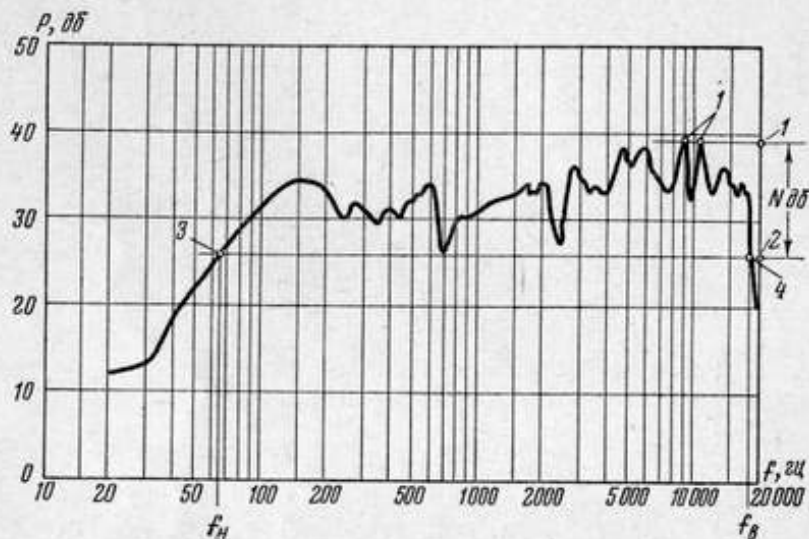


Рис. 4. Частотная характеристика головки 4А-28 (в акустическом экране 1,65×1,35 м)

необходимо измерить его частотную характеристику и установить (или знать из нормативных документов, например, технических условий) допуск на частотные искажения. Частотная характеристика громкоговорителя (рис. 4) есть графическое выражение зависимости величины звукового давления p , развиваемого громкоговорителем, от частоты. Для удобства построения графика этой зависимости значения частоты в герцах (Гц) по горизонтальной оси (оси абсцисс) и величина давления в децибелах по вертикальной оси (оси ординат) откладываются в логарифмических масштабах. При необходимости можно вместо значения звукового давления в относительных единицах — децибелах (дБ) — путем несложного пересчета получить величину развиваемого громкоговорителем давления в абсо-

лютных единицах: $\frac{\text{ньютон}}{\text{квадратный метр}} \left(\frac{\text{н}}{\text{м}^2}\right)^*$. Более подробные сведения об указанных единицах приводятся в Приложении, куда мы и отсылаем интересующегося этими вопросами читателя.

Возвращаясь к рис. 4, мы видим, что величина развиваемого громкоговорителем звукового давления разная на разных частотах, увеличиваясь на одних (пики) и резко уменьшаясь на других (провалы). Если допуск на частотные искажения равен величине N дБ (на практике величину N обычно называют неравномерностью частотной характеристики), то, найдя на частотной характеристике точку с максимальным значением p (точки 1 на рис. 4), откладывают от нее вниз величину в N дБ (точка 2 на рис. 4). Проводя из точки 2 линию, параллельную оси частот, получают точки 3 и 4 (см. рис. 4), в которых она пересекает график частотной характеристики. Следовательно, номинальный диапазон частот при неравномерности N дБ будет простирается от точки 3, называемой нижней граничной частотой f_n , до точки 4, называемой верхней граничной частотой f_v .

Если же по каким-либо причинам не известен допуск на частотные искажения, то величина неравномерности частотной характеристики и номинальный диапазон могут быть определены способом, показанным на рис. 5. На графике отмечаются точки максимального и минимального значения звукового давления (точки 1 и 2). Разность между величиной p_{max} и p_{min} в децибелах даст величину N , а пересечение линией, проходящей через точку 2 графика (точки 3 и 4), определит значения f_n и f_v , то есть номинальный диапазон частот. В практических условиях при определении номинального диапазона частот принято исключать пики и провалы на частотной характеристике, ширина которых у основания менее одной восьмой октавы. Проведенные эксперименты показали, что человеческое ухо

* До введения в практику международной системы единиц СИ величина звукового давления измерялась в $\frac{\text{ньютон}}{\text{квадратный сантиметр}}$ и называлась «бар». Соотношение между старой и новой системой определения единиц звукового давления таково:

$$10 \frac{\text{бар}}{\text{см}^2} = 1 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}.$$

не различает столь узкие по ширине увеличения или уменьшения давления.

Частотная характеристика громкоговорителя измеряется в условиях свободного пространства в определенной фиксированной точке, лежащей на его акустической оси, при подведении к нему синусоидального электрического сигнала, изменяющегося по частоте и с постоянным по величине напряжением. Запись частотной характеристики производится специальной измерительной аппаратурой. Номинальный диапазон частот позволяет определить качество громкоговорителя, так как чем он шире, тем ближе его воспроизведение к натуральному. Одновременно величина неравномерности N характеризует верность воспроизведения, то есть приближение к неискаженной передаче всего спектра частот, содержащихся в исходном материале. Наконец, зная величины f_n и f_v — граничных частот номинального диапазона, — можно определить, сбалансирована ли частотная характеристика громкоговорителя. Опыт показал, что если произведение $f_n \cdot f_v$ составляет значение в пределах $500\ 000 \div 650\ 000$, то у слушателя не создается впечатления разбалансировки в звучании. Иными словами, у него не создается впечатления преобладания звучания высоких (резкое) или низких (бубнение) частот.

Среднее стандартное звуковое давление

Это среднеквадратичное из значений звукового давления, развиваемого громкоговорителем на его рабочей оси на расстоянии 1 м от рабочего центра при электрической мощности, равной 0,1 Вт, на тех из частот (или в тех из полос со средними частотами): 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500; 16 000; 20 000*, которые входят в номинальный частотный диапазон громкоговорителя. Среднее стандартное звуковое давление является важным качественным показателем громкоговорителя, определяющим эффективность его работы.

Указанные выше ограничения необходимы для того, чтобы можно было сравнивать данные, полученные при

* Эти частоты нормированы ГОСТом и приняты в международной практике. Чтобы не повторяться, далее мы будем этот ряд называть нормированным рядом частот.

измерении громкоговорителя различными организациями или полученные при измерении разных громкоговорителей. Ниже мы рассмотрим условия, в которых должен измеряться громкоговоритель, и выясним причины, требующие жесткой их регламентации. Здесь же остановимся только на одной особенности: почему нормируется величина электрической мощности? Мы уже говорили, что современные схемы оконечных усилителей обеспечивают постоянство напряжения, несмотря на изменение величины сопротивления нагрузки. Если отбираемая от усилителя мощность невелика, то это условие выдерживается в широких пределах, и выходной сигнал не искажается.

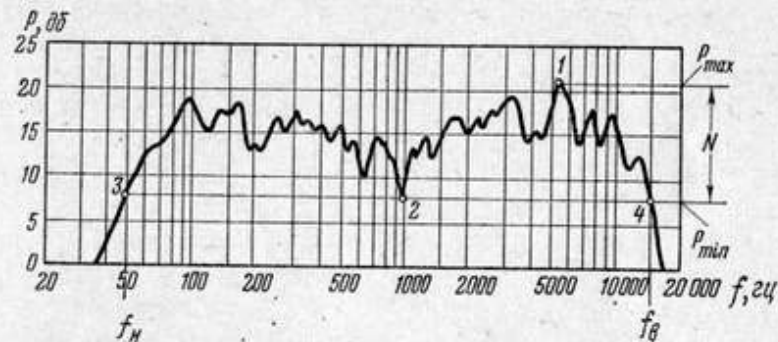


Рис. 5. Частотная характеристика громкоговорителя 30А-68

Казалось бы, что достаточно нормировать величину выходного напряжения, подводимого к громкоговорителю, чтобы получить после измерения и расчета величину среднего стандартного звукового давления. Такое предложение было бы правильно, если бы все громкоговорители имели одинаковое значение номинального сопротивления и изменение его величины по частоте также было бы однотипным. На практике же этого не происходит, и такой метод измерения легко может привести к ошибочной оценке качества громкоговорителя.

Рассмотрим такой пример: предположим, что были измерены два громкоговорителя и величина звукового давления была получена одинаковой. Известно, что номинальное сопротивление у второго громкоговорителя больше, чем у первого ($Z_2 > Z_1$). Так как величина подводимого к ним электрического напряжения была одинакова ($U = U_1 = U_2$), то потребленная вторым громкоговорителем электрическая мощность была меньше, чем у первого ($P_2 < P_1$). Вспомним, что громкоговоритель является пре-

образователем подведенной электрической мощности в акустическую и чем выше величина излученной или акустической мощности, тем больше и звуковое давление. Очевидно, в данном случае эффективность второго преобразователя (громкоговорителя) выше первого. А при выбранном нами критерии мы бы оценили их одинаково, то есть сделали бы ошибку. Нормируя же величину электрической мощности, мы для каждого измеряемого громкоговорителя должны определить величину подводимого к нему напряжения ($U_m = \sqrt{P_s \cdot Z}$), то есть автоматически внести поправку на его особенности как преобразователя. Только тогда полученные значения звукового давления будут характеризовать эффективность работы громкоговорителя. При измерениях могут быть случаи, когда расстояние от микрофона до громкоговорителя больше 1 м. Точно так же и электрическая мощность, подведенная к громкоговорителю, может быть много больше указанной выше (0,1 Вт). В этих случаях сначала производится пересчет измеренной величины звукового давления к тому его значению, которое имело бы место при стандартных условиях измерений. Только после такого пересчета определяется величина стандартного звукового давления.

Электрическая мощность

Это мощность, рассеиваемая на активном сопротивлении, равном по величине номинальному сопротивлению громкоговорителя, при напряжении, равном напряжению на его зажимах. Электрическая мощность может быть вычислена по номинальному сопротивлению громкоговорителя и среднеквадратичному значению напряжения.

Для кинотеатральных громкоговорителей занормировано два понятия электрической мощности:

номинальная мощность (P_n) — электрическая мощность, при которой громкоговоритель может длительное время работать без механических или электрических повреждений и при которой общий коэффициент нелинейных искажений (или их общий уровень) не превосходит значений, допускаемых техническими условиями или иными нормативными документами;

максимальная мощность (P_m) — электрическая мощность, указываемая в паспорте головки. Максимальная мощность есть наибольшая неискаженная мощность усилителя, при питании от которого громкоговори-

тель может длительное время работать на обычном программном материале без механических или электрических повреждений.

Из приведенных определений следует, что сами понятия двух градаций электрической мощности условны, из них первое (номинальная) необходимо для разработчиков и испытателей, а второе (максимальная) — для практического использования при комплектации громкоговорителей и усилителей.

Неизбежность такой условности станет понятна из сравнения измерительного и рабочего сигналов. В первом случае к громкоговорителю подводится всегда сигнал опреде-

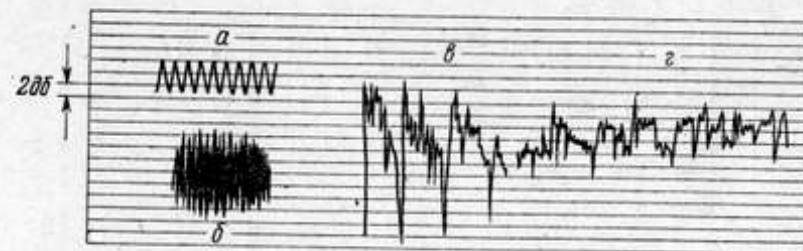


Рис. 6. Уравнеграммы сигналов (измерительных и реальных): а — синусоидальный; б — белый шум; в — женский голос (пение); г — оркестр

ленной формы (синусоидальный или шумовой). Применительно к такому сигналу действительны понятия, принятые, например, в электротехнике, а величины мощностей определяются энергетическими соображениями. Электрический сигнал, подводимый к громкоговорителю, в реальных условиях имеет сложную форму, соответствующую акустическому процессу, записанному на фонограмме. Для сравнения, как пример, на рис. 6 показаны формы таких сигналов.

Характерной особенностью реального сигнала является непрерывное и очень быстрое во времени изменение его уровня и частотных составляющих. Кроме того, известно, что у реальных источников звука излучаемая ими мощность не одинаково распределена по спектру частот (рис. 7). В итоге при работе от реального сигнала (его принято называть программным материалом) электрическая мощность, подводимая от источника питания к громкоговорителю, непрерывно и в самых разнообразных сочетаниях меняется мгновенно по величине от очень малых до очень больших

значений. Применение принятых в электротехнике правил определения мощностей в таком сигнале теряет практический смысл. Поэтому допускается условность понятий, для пояснения которой рассмотрим один пример.

Отношение минимальных и максимальных (пиковых) значений мощности в сигнале называют его пик факт о р о м. Для современной хорошей фонограммы величина пикфактора может достигать 10. Отношение электрических мощностей равно квадрату пикфактора, то есть может составлять величину 100. У лучшего же современного кинотеатрального громкоговорителя отношение между номинальной и максимальной мощностями не превышает значе-

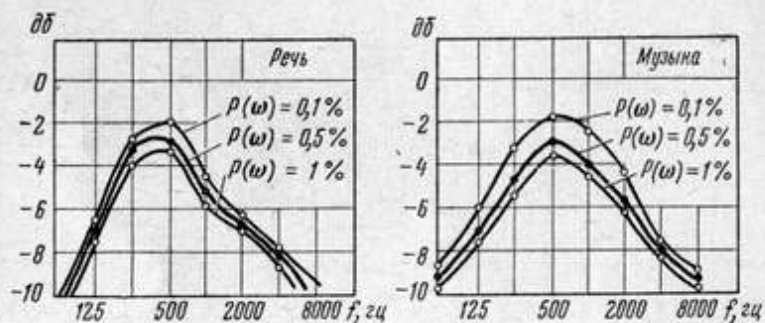


Рис. 7. Среднестатистические спектры максимальных значений мощности:
 $p(\omega)$ — плотность вероятностей; $0_{дб}$ — соответствует значению мощности в широкой полосе

ния 2 и при этом он работает вполне нормально. Следовательно, принятые определения этих мощностей условны, оба они являются некоторыми условно фиксированными уровнями пиковой мощности. Первый из них устанавливается, исходя из требований на допустимую для данного класса громкоговорителя величину нелинейных искажений. Второй уровень также должен быть определен для обеспечения надежной работы громкоговорителя в эксплуатации.

Поэтому отношение $\frac{P_M}{P_N}$ называют коэффициентом надежности громкоговорителя.

Коэффициент полезного действия

Номинальный коэффициент полезного действия — к. п. д. — является важнейшим параметром, определяющим

эффективность электроакустического преобразования, и определяется как отношение излученной акустической мощности P_a к подведенной электрической мощности P_s в заданной полосе частот:

$$\text{к. п. д.} = \frac{P_a}{P_s} \cdot 100 \%$$

Величина к. п. д. характеризует, какую долю из подведенной к громкоговорителю электрической мощности он превращает в полезную — звуковую. Знание к. п. д. громкоговорителя того или иного образца позволило бы сразу

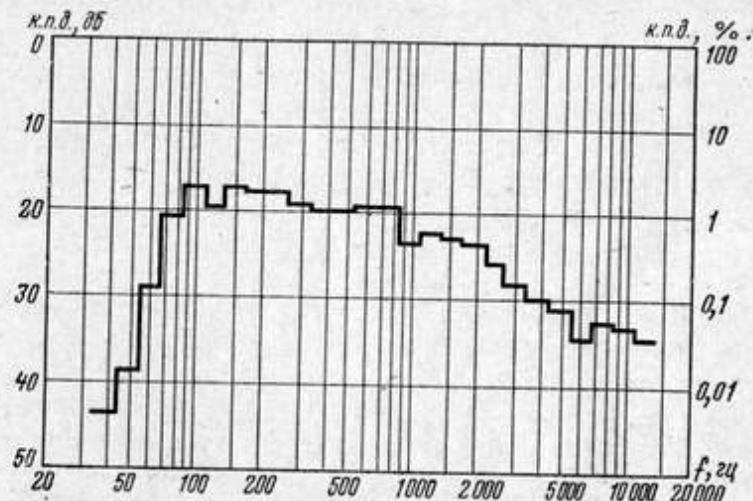


Рис. 8. Частотная характеристика к. п. д. головки 4А-28

определить, какой из них является лучшим, то есть какой из них большую часть электрической мощности превращает в звуковую.

До последнего времени в перечне качественных показателей громкоговорителя величина к. п. д. обычно не указывалась, так как существовавшая методика требовала ряда сложных измерений и громоздких математических вычислений. В настоящее время в практику измерений кинотеатральных громкоговорителей введена более удобная методика, с которой мы вкратце познакомимся в следующей главе. Она требует дополнительного специального оборудования, но зато позволяет довольно просто нанести на частотном бланке характеристику к. п. д. испытуемого громкоговорителя (рис. 8). В графическом представлении частот-

ная характеристика к. п. д. очень похожа на частотную характеристику звукового давления (см. рис. 4 и 8), хотя отличается видом хода самой характеристики, так как измеряется только с помощью полос шумового сигнала.

По аналогии с ранее принятым определением качественных показателей громкоговорителя, приводимых в его технической документации, выбран средний номинальный коэффициент полезного действия — среднее арифметическое из значений номинального к. п. д. на тех из полос со средними частотами нормированного ряда частот, которые входят в номинальный диапазон частот. Величина среднего номинального к. п. д. может быть указана в децибелах или процентах (см. таблицу пересчета в Приложении II). Обычно ее указывают в децибелах, так как эта величина прямо может быть получена из частотной характеристики к. п. д., ординаты графика которой имеют децибельную шкалу.

Искажения в громкоговорителях

Одним из важнейших показателей, позволяющих оценивать качество громкоговорителя, является величина вносимых им искажений. Отсутствие искажений в громкоговорителе означало бы полное соответствие сигнала, поданного на его вход в виде напряжения звуковой частоты, с сигналом на его выходе, то есть звуковой волной. Однако практически происходящее в громкоговорителе преобразование первоначального сигнала в той или иной мере искажается.

Как и во всякой другой системе, в громкоговорителях принято различать две основные категории искажений: *линейные* и *нелинейные*.

В результате линейных искажений происходит нарушение соотношения амплитуд для различных по частоте составляющих сигнала. В громкоговорителях эти искажения вызывают изменения тембра звучания голосов и инструментов, ухудшение разборчивости речи и т. п.

В результате нелинейных искажений в воспроизводимом сигнале возникает ряд составляющих, отсутствующих в исходном сигнале. Эти искажения прослушиваются в виде хрипов и дребезжаний, сопровождающих звучание.

К числу линейных искажений относятся *частотные искажения*, которые характеризуют изменение коэффициента передачи громкоговорителя.

Рассмотрим еще раз характеристику громкоговорителя (см. рис. 4). Мы уже подчеркивали, что при снятии характеристики на зажимах громкоговорителя поддерживается строгое постоянство напряжения на всех частотах. При отсутствии частотных искажений характеристика должна была бы выглядеть, как прямая линия, параллельная оси абсцисс. Наличие же на ней подъемов и провалов показывает, что одни частоты или группы частот воспроизводятся громкоговорителем сильнее, другие — слабее.

Величина искажений характеризуется значением N — неравномерностью частотной характеристики, выраженной в децибелах. Об определении величины N и связи между нею и воспроизводимым громкоговорителем диапазоном частот мы подробно говорили ранее.

Нелинейные искажения в громкоговорителях чаще всего связаны с амплитудой смещения подвижной системы его головки. Поэтому их иногда называют амплитудными искажениями, что не совсем точно, так как последние могут возникать и в линейной системе.

Как уже указывалось, нелинейные искажения громкоговорителя приводят к появлению в воспроизводимом им звуке посторонних частот, отсутствующих в подведенном к его зажимам сигнале. Если к громкоговорителю подводится простой сигнал, представляющий синусоидальное колебание одной частоты, то в воспроизводимом им звуке помимо тона основной частоты (равного частоте сигнала) появятся более высокие тона (гармоники), частоты которых кратны основной.

При подведении к громкоговорителям сигнала сложной формы, в котором одновременно имеется ряд частот, в воспроизведенном им звуке помимо основных появляются различные комбинации дополнительных тонов (комбинационные тона).

До настоящего времени, несмотря на многочисленные предложения, нет относительно простого и точного метода определения всей совокупности продуктов нелинейных искажений. Однако на практике оказалось возможным ограничиться учетом только гармонических искажений, то есть возникающих вследствие нарушения линейных свойств системы дополнительных колебаний с более высокой частотой. Так, если основная частота равна f , то дополнительные частоты будут: $2f$ — вторая гармоника, $3f$ — третья гармоника; $4f$ — четвертая гармоника и т. д.

Измерения нелинейных искажений методом определения коэффициента гармоник (его иногда называют клирфактором) рекомендованы, например, ГОСТом 16122—70.

Этот метод имеет ряд специфических недостатков, из которых основными являются: зависимость коэффициента гармоник громкоговорителя не только от его нелинейных,

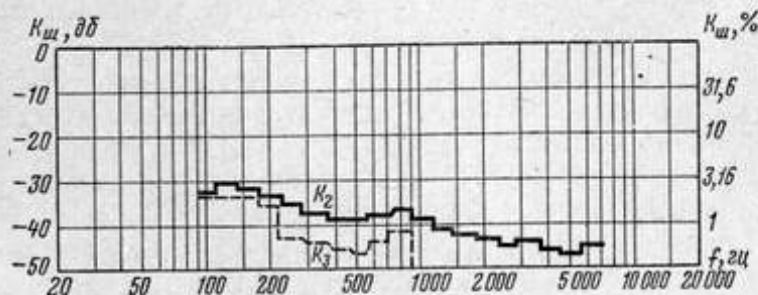


Рис. 9. Частотные характеристики уровней нелинейных искажений головки 4А-28:

K_2 — второго порядка; K_3 — третьего порядка

но и частотных свойств, невозможность автоматизировать процесс измерений с целью осуществления непрерывной записи характеристики искажений, необходимость использования чистых тонов (синусоидальных) и жестких в связи с этими требованиями к условиям измерений.

В кинотеатральных громкоговорителях вследствие указанных причин величина нелинейных искажений длительное время не нормировалась, хотя такой показатель является одним из важнейших для оценки качества громкоговорителя. В настоящее время найден метод определения нелинейных искажений, свободный от недостатков метода коэффициента гармоник.

Сущность метода заключается в применении шумовых сигналов ($1/3$ октавных) и определении акустических мощностей продуктов искажений. В практических условиях достаточно ограничиться продуктами искажений второго и третьего порядков. Качество громкоговорителя может быть определено величиной общего коэффициента нелинейных искажений или общим уровнем нелинейных искажений.

Общий коэффициент нелинейных искажений — выраженный в процентах квадратный корень из акустической мощности, создаваемой головкой продукта нелинейных искажений при данной электриче-

ской мощности к средней акустической мощности, развиваемой головкой при той же электрической мощности.

Общий уровень нелинейных искажений — общий коэффициент нелинейных искажений, выраженный в децибелах.

Современная измерительная аппаратура, шкала которой отградуирована в децибелах (вертикальная ось бланка), облегчает нормирование общего уровня искажений. Перевод децибелов в проценты может быть сделан пересчетом по таблице, приведенной в Приложении II.

На рис. 9 показаны бланки частотных характеристик искажений второго и третьего порядков для одного из кинотеатральных громкоговорителей.

Направленность излучения

Характеристика направленности является дополнительным показателем к сумме основных, характеризующих качество громкоговорителя. Она фиксирует, как изменя-

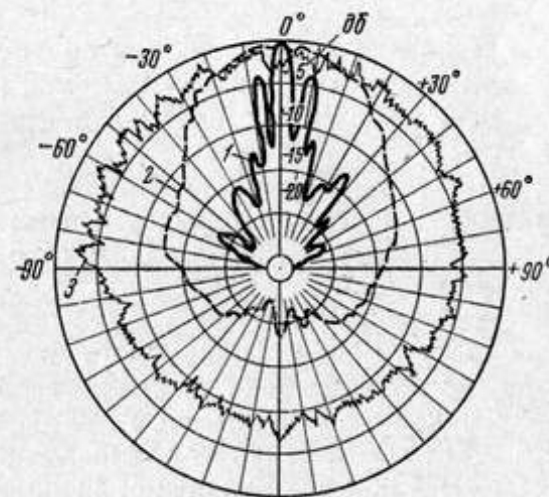


Рис. 10. Характеристика направленности громкоговорителя типа 35ГД-3:

3 — 200 гц; 2 — 1600 гц; 1 — 12500 гц

ется величина звукового давления в точках, расположенных под углом к рабочей оси громкоговорителя при данной частоте и при различных частотах для данной точки.

На рис. 10 в качестве примера приведена характеристика направленности громкоговорителя. Для наглядности

график строится на бланке с полярными координатами в отличие от прямоугольных координат, с которыми мы встречались ранее.

Характеристики направленности кинотеатральных громкоговорителей имеют симметричный вид, а их акустическое оформление проектируется всегда таким образом, чтобы вся энергия излучалась в переднее полупространство. Учитывая эти особенности, градусная сетка представляет собой половину окружности, у которой 0° совмещен с рабочей осью громкоговорителя. Звуковое давление для данного угла откладывается в долях или децибелах от максимальной величины звукового давления или уровня давления, измеренного на одном из направлений от источника. Такой максимум часто совпадает с осевым направлением 0° , но на практике могут быть случаи, когда наибольшее значение совпадает с одним из боковых лепестков характеристики.

Шкала децибелов или отношений давлений наносится радиусами из точки пересечения горизонтального диаметра (-90° ; $+90^\circ$) с вертикальным радиусом (0°) (см. рис. 10).

Если характеристики направленности симметричны рабочей оси громкоговорителя, то характеристики направленности для каждой из частот откладываются в $1/4$ части окружности.

Оценка угла излучения обычно производится по тем точкам характеристики, для которых уменьшение уровня звукового давления не превышает величину 6 дб (вдвое по абсолютной величине).

Характеристика направленности громкоговорителя необходима при расчете звукофицируемого помещения и позволяет при проектировании наглядно воспроизвести картину равномерности покрытия зоны зрительских мест в зале прямой звуковой энергией от громкоговорителя как для данной частоты, так и в номинальном диапазоне частот.

§ 4. Измерение громкоговорителей

Выше были перечислены важнейшие показатели, определяющие качество громкоговорителя. С их помощью можно, во-первых, оценить эффективность его как преобразователя, во-вторых, определить, обеспечит ли данный громкоговоритель требуемое качество звукопередачи, и, в-третьих, произвести необходимые расчеты при проектировании кино-

театра. При ознакомлении с самими показателями мы уже уяснили, что для их измерения требуются соответствующая аппаратура и определенные условия.

К основной аппаратуре относятся: звуковые и шумовые генераторы, измерительные логарифмические усилители и специальные микрофоны, высококачественные мощные (оконечные) усилители, мосты для измерения комплексного сопротивления, самопишущие приборы для фиксации измеряемых характеристик, измерительные фильтры ($1/3$ -октавные, ограничивающие и специальные), измерительные приборы.

При измерении электроакустических показателей громкоговорителей должны быть соблюдены также следующие специальные условия:

а) ряд измерений (частотные характеристики, направленность и т. д.) должен производиться в свободном звуковом поле, то есть должно быть обеспечено отсутствие отражения звуковых волн от каких-либо препятствий;

б) ряд измерений (к. п. д., акустическая мощность) должен производиться в диффузном поле, в поле с равномерно распределенной в нем звуковой энергией, излученной источником;

в) уровень посторонних шумов должен быть значительно (не менее, чем на 10 дб) ниже уровня измеряемого микрофонного сигнала, чтобы они не сказывались на результатах измерений.

Измерения на открытом воздухе наиболее благоприятны для создания требуемых акустических условий — свободного звукового поля. Для испытания громкоговорителей создаются специальные полигоны или площадки на открытой местности в достаточном удалении от объектов, могущих быть отражающими звук поверхностями (например, лес, группы высоких зданий) или являющихся источниками шума (аэродром, промышленные предприятия и т. п.).

Полигон оборудуется помещением для размещения комплекта измерительной аппаратуры, хранения громкоговорителей и средствами подъема на достаточную высоту как измеряемого громкоговорителя, так и измерительного микрофона.

Главным недостатком измерений на открытом воздухе является зависимость от метеорологических условий и времени года. Существенные трудности также возникают в нахождении самой площадки под полигон, с тем чтобы исклю-

чить взаимное мешающее соседство между ним и вблизи расположенными объектами иного назначения.

От этих двух основных недостатков свободны закрытые специальные помещения, в которых созданы акустические условия, эквивалентные открытому пространству, — заглушенные камеры.

Такая камера является специальным инженерным сооружением, спроектированным так, чтобы быть изолиро-

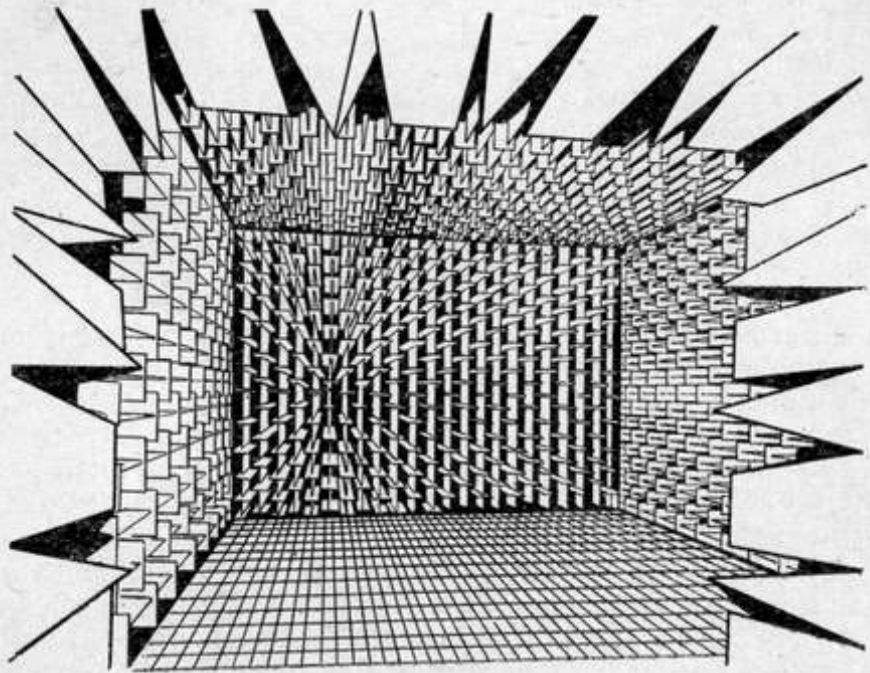


Рис. 11. Общий вид заглушенной камеры. Обработка поверхностей — клинья из звукопоглощающего материала

ванной от проникновения шумов и вибраций со стороны здания, в котором она размещена. Пол, потолок и стены заглушенной камеры внутри нее покрыты специальными звукопоглощающими конструкциями, обеспечивающими эффективное поглощение звуковой энергии на всех частотах, на которых проводятся измерения (рис. 11).

Объем, характер звукопоглощающих конструкций камеры зависят от размеров измеряемых громкоговорителей и их номинального диапазона частот. Наибольшие трудности возникают при необходимости обеспечить свободное

звуковое поле на низких частотах*. Вот почему хорошие звукомерные камеры имеют объемы от 600 до 2000 м³.

Для измерений в диффузном поле обязательна также специальная измерительная камера, которая называется разглушенной или реверберационной камерой.

Требования к такому помещению прямо противоположны предыдущим, а именно: пол, стены и потолок такой камеры должны очень хорошо отражать звук на всех тех частотах, на которых проводятся измерения (для этой цели, например, все поверхности периметра помещения покрываются полированным мрамором). Размеры реверберационной камеры могут быть заметно меньшими, чем заглушенной камеры (объем хорошей камеры может быть порядка 200 м³).

К измерительной аппаратуре и всему электрическому оборудованию звукомерных камер предъявляются очень жесткие качественные требования для обеспечения достаточной точности проводимых испытаний.

Перечисленные выше условия, которые необходимо удовлетворить для измерения электроакустических характеристик громкоговорителей, требуют больших затрат на строительство и оборудование, а сами измерения — наличия специалистов-электроакустиков высокой квалификации.

Обеспечение этих требований под силу крупным научно-исследовательским институтам и предприятиям, разрабатывающим и изготовляющим громкоговорители. В обычных условиях эксплуатации кинотеатральных громкоговорителей, естественно, нет возможности обеспечить условия проведения объективных** измерений. Более того, произведенные большие материальные затраты не были бы оправданы действительно острой необходимостью проводить такого рода измерения.

* Свободное звуковое поле характеризуется сохранением закона обратной пропорциональности, то есть звуковое давление в нем должно падать обратно пропорционально расстоянию до источника звука. Фактическая кривая спада звукового давления в заглушенной камере должна отклоняться от кривой спада в свободном поле не более ± 1 дБ для всех расстояний, которые могут быть необходимы для измерений.

** Объективными измерениями называются измерения, результат которых фиксируется приборами. Если фиксирующим прибором является человеческое ухо (например, определение на слух качества звучания или отсутствия искажений), то такие испытания называются субъективными.

Уже из первых сведений можно сделать вывод, что «сердцем» громкоговорителя является головка, акустическое же оформление служит средством реализации качественных показателей, заложенных в конструкции головки.

Конструкция акустического оформления, применяемые для его изготовления технология и материалы настолько просты и надежны, что технические показатели оформления ни в производстве, ни в эксплуатации практически не могут измениться. В этом нетрудно убедиться, если взглянуть в следующие главы. Там мы увидим, например, что основным материалом акустического оформления является многослойная фанера, изготовленные детали из которой собираются на деревянном или иногда на металлическом каркасе.

После проектирования громкоговорителя и изготовления первых макетов оформления, а также опытного образца, исполненного по заводским чертежам и принятой на данном заводе технологии, необходимо проведение полного цикла объективных и субъективных испытаний.

В первом случае (макет) проверяются результаты расчета акустического оформления и довольно часто проводится экспериментальная доработка изготовленного макета с целью получения максимально благоприятных результатов.

Во втором случае (опытный образец) проводится, по существу, контрольная проверка — сохранились ли в заводском образце качественные показатели, достигнутые в лабораторном макете. Этим самым устанавливается отсутствие ошибок в заводских чертежах и технологии изготовления деталей и сборке всей конструкции. При обнаружении дефектов в соответствующую документацию вносятся коррективы, и после этого можно быть уверенным, что достигнутые качественные результаты останутся без изменений.

В дальнейшем в производстве акустическое оформление проверяется лишь на соблюдение основных посадочных размеров деталей и крепления головок, а также прослушивается в собранном виде (периодически). Совершенно другое положение с головкой. Прежде всего конструкция ее сложная, состоит из ряда деталей и узлов, соединяемых между собой различными способами. Применяются разнообразные материалы и технология изготовления деталей. Различны методы сборки отдельных деталей в узлы и соеди-

нения готовых узлов между собой. Большое количество размеров требует строгого выдерживания допусков на их величину.

Нарушение или отклонения в технологии или процессе производства в конечном счете приводят к заметному ухудшению качественных показателей головки или к полной ее неисправности.

Вот почему подробным объективным измерениям головка подвергается не только на стадии разработки или изготовления опытных (заводских) образцов, но и непрерывно в процессе производства данной модели.

В технических условиях (ТУ) на головки подробно регламентированы методы объективных измерений и их периодичность. Ряд показателей контролируется для каждой изготовленной головки, а остальные — выборочно или периодически.

Во всех случаях в программу испытаний громкоговорителя или его головки наряду с комплексом объективных измерений вводится и оценка качества звучания испытуемого объекта, то есть субъективное испытание. У инженеров-электроакустиков продолжает с полным правом существовать старое правило: только человеческое ухо способно быть инструментом интегральной (сразу, с учетом суммы всех показателей) информации: хорошо или плохо звучит громкоговоритель.

В лабораторных условиях порядок проведения субъективных испытаний довольно сложный, так как необходимо при их проведении исключить возможность появления случайных или ошибочных результатов.

Однако вполне удовлетворительные результаты могут быть получены при использовании более простой схемы, приведенной на рис. 12. Испытания, как это следует из схемы, сводятся в данном случае к субъективному сравнению проверяемого громкоговорителя с контрольным, качество работы которого известно и оценено как хорошее.

Основным условием успеха таких испытаний является исправность и надежность работы всего тракта, включая контрольный громкоговоритель, и хорошее качество фонограммы. Само испытание состоит в поочередном прослушивании контрольного и испытуемого громкоговорителей, при этом важно, чтобы изменение положения переключателя происходило на одинаковых по уровню и характеру звучаний воспроизводимой программы.

Наконец, субъективные испытания могут быть сведены просто к прослушиванию громкоговорителя (та же схема рис. 12, но без контрольного громкоговорителя), что наиболее часто может быть использовано в реальной эксплуатационной обстановке. Прослушивание вполне достаточно для определения грубых недостатков работы громкоговорителя или головки (дребезжания, искажения) как следствие неисправностей в результате неудовлетворительного изготовления или плохих условий транспортировки. Более тонкая оценка качества (тембр звучания, полоса частот, баланс низких и высоких частот и т. п.) возможна, если слушающий имеет музыкальный и тренированный слух.

Таким образом, мы установили, что контроль громкоговорителя, требующий условий проведения объективных измерений, осуществляется на конечном этапе его разработки и при внедрении в производство. При производстве

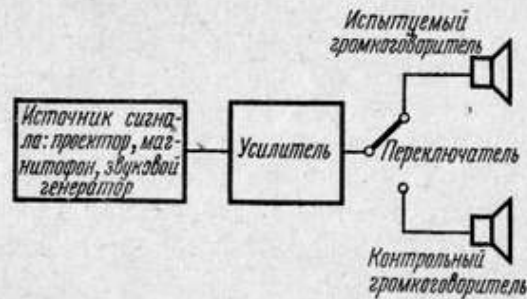


Рис. 12. Схема субъективных испытаний

такому контролю подвергаются только головки, акустическое оформление контролируется элементарными методами. В ряде случаев субъективное испытание громкоговорителя даже в наиболее простом виде — прослушивание — вполне достаточно для того, чтобы отметить неисправности громкоговорителя.

Применительно к условиям эксплуатации все эти соображения сохраняют силу с тем добавлением, что необходимость определять величину качественных показателей громкоговорителя при налаженном заводском контроле вообще отпадает. При получении заводской аппаратуры достаточно произвести тщательный внешний осмотр акустического оформления громкоговорителей. После устранения мелких дефектов (см. ниже) можно быть уверенным в его нормальной работе. Если дефекты серьезные, то на изделие состав-

ляется рекламация, и завод-изготовитель обязан его заменить.

Головки громкоговорителей требуют контроля, как более тонкий и подверженный порче элемент. Однако если простые объективные методы зафиксировали исправность головки (о них ниже, в главе V), то для уверенности в их хорошей работе достаточно прослушивания, то есть субъективных испытаний.

Точно так же громкоговорители в сборе достаточно прослушать, что всегда производится для всей установки в целом после ее монтажа и юстировки аппаратуры комплекта.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

§ 1. Устройство головки прямого излучения и назначение ее основных деталей

Рассмотрим чертеж общего вида головки прямого излучения, применяемой в кинотеатральной аппаратуре (рис. 13). Внимательно рассматривая общий вид, нетрудно заметить, что вся конструкция головки состоит из трех самостоятельных узлов, характерных для головки прямого излучения любого типа.

Основной конструктивный узел состоит из следующих деталей: а) усеченного бумажного конуса — диффузора 1, основание которого переходит в плоское гофрированное кольцо 9, называемое обычно воротником или гофром; б) звуковой катушки 2, состоящей из каркаса (гильзы) с намотанной на нем в несколько слоев витками провода; одним концом каркас прочно склеен с усеченной вершиной конуса диффузора; в) центрирующей шайбы 3 (внутренняя часть ее также прочно приклеена к диффузору). Таким образом, диффузор, звуковая катушка, центрирующая шайба и воротник в готовом виде составляют единое целое и называются подвижной системой.

Второй конструктивный узел головки объединяет следующие детали: kern 4, верхний фланец 5, магнит 6 и нижний фланец 7. Рассматривая внимательно этот узел, мы без труда можем различить, что он состоит из источника возбуждения магнитного поля и магнитопровода, по которому проходят магнитные силовые линии. По целевому назначению этого узла он в сборе именуется магнитной системой.

В кольцевом (воздушном) зазоре магнитной системы, образованном разностью диаметров керна и отверстия в верхнем фланце, размещается звуковая катушка подвижной системы. Внутренний диаметр катушки всегда несколько больше диаметра керна, а внешний — меньше диаметра отверстия в верхнем фланце. Таким образом, между нею и прилегающими частями магнитопровода имеется свободный зазор (просвет). Для механического соединения подвижной системы с магнитной, закрепления воротника диффузора и центрирующей шайбы, крепления головки к акустическому оформлению, правильного расположения звуковой катушки в воздушном зазоре магнитной системы в рассматриваемой головке применяется целый ряд деталей (диффузородержатель, прижимные кольца, прокладки, крепежные винты и болты и т. п.). По своему целевому назначению они могут быть отнесены к вспомогательной системе. При конкретном конструктивном решении для данного типа головок могут меняться форма деталей, материал, из которого они изготовляются, и их количество (особенно для вспомогательной системы), но основные три узла и их назначение остаются без изменений.

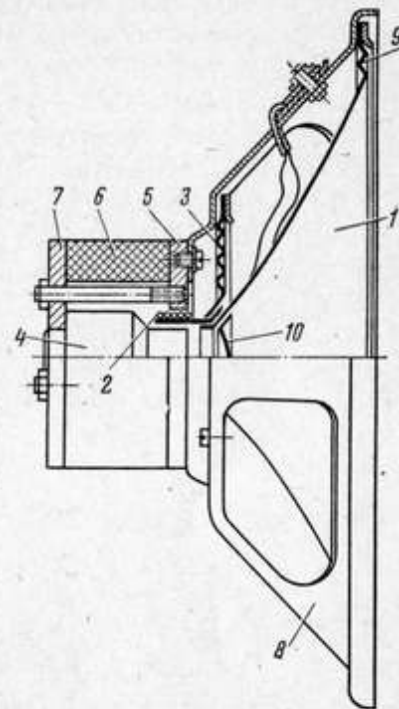


Рис. 13. Общий вид головки 4А-18А:

1 — диффузор; 2 — звуковая катушка; 3 — центрирующая шайба; 4 — kern; 5 — верхний фланец; 6 — магнит; 7 — нижний фланец; 8 — диффузородержатель; 9 — воротник диффузора (гофр); 10 — пылезащитный колпачок

Таким образом, рассматривая любую электродинамическую головку прямого излучения, вне зависимости от особенности конструктивного решения той или иной ее детали, мы всегда можем разделить их на три основные группы или конструктивные узлы:

а) подвижную систему, состоящую из источника движения, излучателя звука (возбудителя колебаний воздуха) и приспособлений, обеспечивающих правильное положение источника движения в магнитном поле;

б) магнитную систему, состоящую из магнитопровода и источника магнитного поля;

в) вспомогательную систему, состоящую из поддерживающих и скрепляющих деталей, обеспечивающих жесткость и механическую надежность всей конструкции головки.

Рассмотрев устройство головки прямого излучения в общем виде, познакомимся подробнее с назначением и конструктивными особенностями основных деталей каждой из указанных групп.

Подвижная система

Основной элемент подвижной системы — диффузор. Современные основные типы головок громкоговорителей имеют диффузоры, изготовленные путем осаждения волокон из жидкой бумажной массы на специальную форму с последующей прессовкой и сушкой. Такие диффузоры называют литыми; их отличительный признак — отсутствие шва на конусе (поэтому их ранее называли бесшовными).

Различают два типа литых диффузоров: с прямолинейной и криволинейной образующей конуса (рис. 14). Диффузоры первого типа несколько проще в изготовлении, но они имеют недостаток — призвуки при работе. Так как частота этих коле-

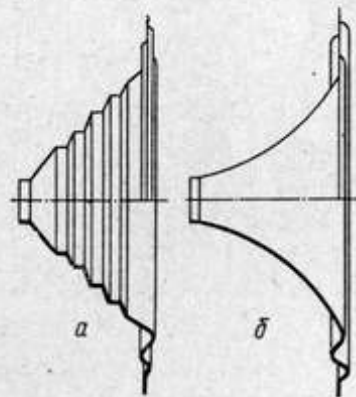


Рис. 14. Типы литых бумажных диффузоров:
а — с прямолинейной образующей, б — с криволинейной образующей

баний всегда ниже основной, то они ясно слышны даже при малой интенсивности самого призвука и снижают

качество звучания. Для борьбы с этим явлением на поверхность конуса пытались наносить серию концентрических канавок (рис. 14, а), но это сразу усложнило его производство. Вот почему повсеместно и, в частности, в отечественных головках кинотеатральных громкоговорителей широкое практическое применение нашли только диффузоры с криволинейной образующей.

В диффузорах с криволинейной образующей параметрический резонанс отсутствует. Форма образующей для них может быть выбрана различной, однако она обычно представляет собой отрезок дуги окружности большого радиуса. Широкое распространение такого типа образующей объясняется тем, что более сложные кривые (катеноида, гиперболы и т. п.), значительно затрудняя производство диффузоров, не дают заметных качественных преимуществ.

Для отлива подбирается специальный состав бумажной массы, чтобы получить наиболее удачное сочетание физических свойств материала диффузора: плотности, упругости и внутреннего трения. Толщина диффузора обычно увеличивается от основания к вершине. Такое распределение толщины обеспечивает достаточную прочность самого диффузора и хорошую податливость гофра воротника. Для лучшего воспроизведения высоких частот вершину конуса диффузора дополнительно пропитывают специальным лаком.

На рис. 14,б изображен продольный разрез диффузора такого типа. Большинство современных головок громкоговорителей имеет двух- или трехзвенный гофр для воротников диффузоров, отливаемых одновременно с самим конусом. Только такого типа гофры в сочетании с правильно подобранной формой или профилем (форма канавок, их высота и т. п.) способны обеспечить достаточную гибкость (малую упругость) подвеса верхнего края диффузора и сохранение линейности его свойств во всем рабочем диапазоне смещений подвижной системы. Первое условие необходимо для получения малой величины основного (механического) резонанса головки громкоговорителя — весьма важного условия расширения рабочего диапазона в область более низких частот. Второе условие должно соблюдаться для того, чтобы нелинейные искажения в громкоговорителе были невелики. При построении профиля гофра воротника диффузора весьма важно получить хорошее сопряжение в месте перехода конической части в плоскость воротника, в противном случае возникающие деформации служат источниками паразитных призвуков.

На рис. 15 приведены профили гофра нескольких промышленных типов головок кинотеатральных громкоговорителей.

Центрирующая шайба является вторым элементом подвижной системы, влияющим на качество головки. Ее назначение — обеспечить правильное положение звуковой катушки в воздушном зазоре магнитной системы как в нерабочем состоянии, так и при ее работе. Для этого центрирующая шайба должна обладать минимальной гибкостью в радиальном, то есть в поперечном к поверхности звуковой катушки направлении. Одновременно центрирующая шайба должна допускать свободное перемещение диффузора во всем диапазоне рабочих амплитуд, иметь максимальную гибкость в осевом направлении (вдоль звуковой катушки). Первое требование определяет механическую надежность головки, в частности отсутствие расцентрирования, а второе — хорошие электроакустические свойства: низкую частоту основного резонанса головки, малые искажения.

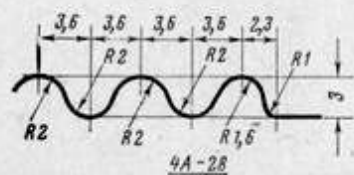
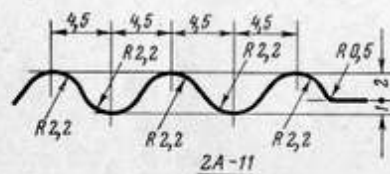
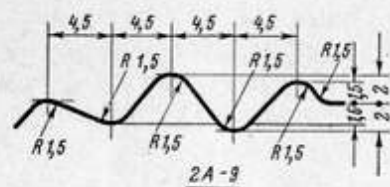
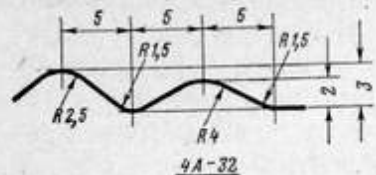


Рис. 15. Профили гофра воротника диффузора (размеры в мм)

Последняя определяется величиной гибкости гофра диффузора и центрирующей шайбы. В практических условиях с целью обеспечения механической надежности головки гибкость гофра всегда больше гибкости центрирующей шайбы. Вот почему ее величина обычно является решающим фактором в снижении частоты основного резонанса.

Центрирующая шайба должна обладать минимальной гибкостью в радиальном, то есть в поперечном к поверхности звуковой катушки направлении. Одновременно центрирующая шайба должна допускать свободное перемещение диффузора во всем диапазоне рабочих амплитуд, иметь максимальную гибкость в осевом направлении (вдоль звуковой катушки). Первое требование определяет механическую надежность головки, в частности отсутствие расцентрирования, а второе — хорошие электроакустические свойства: низкую частоту основного резонанса головки, малые искажения.

Частота основного резонанса головки определяется двумя ее параметрами: суммарной массой подвижной системы и суммарной гибкостью.

Последняя определяется вели-

Центрирующие шайбы могут штамповаться из текстолита или картона, прессоваться из бакелизированной ткани, отливаться из бумажной массы. Малая гибкость в радиальном направлении и большая в осевом достигаются подбором формы шайбы или гофра на ней. Шайбы первого вида, получившие широкое распространение в 30—40-х годах, в последующие годы стали быстро вытесняться центрирующими шайбами второго вида — гофрированными.

Бумажные гофрированные шайбы применяются и в настоящее время, но в маломощных головках — обычно до 0,5 *вт*. Во всех остальных случаях, особенно в головках

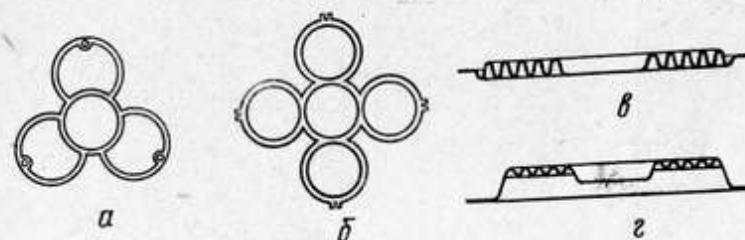


Рис. 16. Типы центрирующих шайб:

а — трехлепестковая текстолитовая; б — четырехлепестковая текстолитовая; в — плоская, гофрированная, матерчатая, бакелизированная; г — коробчатая, гофрированная, матерчатая, бакелизированная

кинотеатральных громкоговорителей, используются бакелизированные гофрированные шайбы из редкой хлопчатобумажной или шелковой ткани. Гофрированная поверхность обычной шайбы заканчивается плоским кольцом, которым она прямо приклеивается к диффузородержателю или же приклеивается к переходной детали, а последняя уже крепится к диффузородержателю. За последние годы все шире находят применение матерчатые гофрированные шайбы так называемого коробчатого типа. По внешнему виду они напоминают коробку с гофрированным дном и развальцованным в плоское кольцо цилиндрическим краем. Такой формы шайбы хорошо центрируют подвижную систему, обладают линейными характеристиками в большом диапазоне амплитуд смещения подвижной системы и хорошей гибкостью.

На рис. 16 показано несколько типов центрирующих шайб, в том числе и ранее применявшиеся штампованные.

Последний элемент подвижной системы — звуковая катушка — является источником движения всей системы. Звуковая катушка наматывается медным проводом, покрытым

эмалевой изоляцией, на бумажный или металлический каркас. В первом случае каркас изготавливается из плотной, пропитанной бакелитовым лаком бумаги, во втором — из тонкой алюминиевой фольги. В обоих случаях на каркасе выдавливается канавка, в которую укладывается провод. Этим достигается повышение механической прочности звуковой катушки.

Число слоев обмотки всегда выбирается четное (два или четыре), поэтому начало и конец ее располагают на крае гильзы каркаса, обращенного к диффузору.

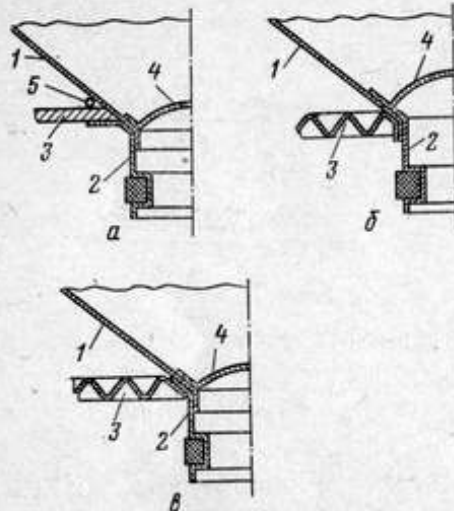


Рис. 17. Способы вклейки звуковых катушек:

а, б — снаружи диффузора; *б* — внутри диффузора; *1* — диффузор, *2* — звуковая катушка, *3* — центрирующая шайба, *4* — пылезащитный колпачок, *5* — бандаж

Каркас звуковой катушки вклеивают в вершину диффузора одним из способов, указанных на рис. 17.

Звуковую катушку при намотке пропитывают специальным клеем, как правило, этим же клеем приклеивают каркас и центрирующую шайбу к диффузору. Концы провода обмотки выводят на диффузор и спаивают с многожильным тонким проводником, идущим на клеммы головки. Место спайки подшивают к диффузору во избежание обрыва проводника звуковой обмотки при движении подвижной системы.

Магнитная система

Еще в конце 40-х и начале 50-х годов применялись головки кинотеатральных громкоговорителей с электрическим возбуждением. Применение таких головок вызывало необходимость в составе аппаратуры иметь специальные выпрямители с очень хорошей фильтрацией постоянного тока, прокладывать помимо звуковых линий еще и линии питания большого сечения. Сама обмотка возбуждения в головке являлась источником мощного выделения тепла и могла быть источником серьезных аварий.

Указанные недостатки были причиной быстрого вытеснения электрического возбуждения постоянными магнитами, как только были открыты и технологически освоены высококоэрцитивные сплавы (см. Приложение III). Уже с середины 50-х годов в головках громкоговорителей стали применять магнитные цепи только с постоянными магнитами. Таким образом, теперь применяется один источник возбуждения магнитного поля в воздушном зазоре магнитной цепи — постоянные магниты.

Конструкции магнитных цепей (рис. 18) определяются формой примененного магнита. Если магнит изготовлен в виде цилиндрического кольца, то магнитная цепь состоит

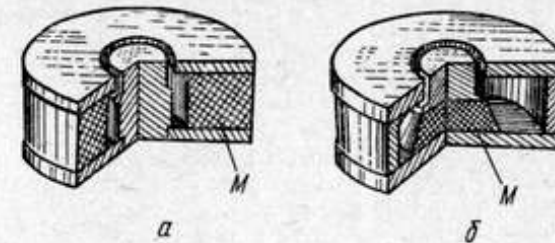


Рис. 18. Типы магнитных цепей:
а — кольцевая; *б* — кернавая (*М* — магнит)

из круглых фланцев и керна цилиндрической формы. Верхний фланец имеет отверстие, в которое входит верхняя часть керна; в свою очередь, kern впрессован в нижний фланец. Магнит плотно прилегает к плоскостям фланцев, которые вместе с керном образуют магнитопровод. Разность диаметров отверстия в верхнем фланце и концевой части керна образуют воздушный зазор, в магнитном поле которого располагается звуковая катушка. Для обеспечения механической прочности магнитная система стягивается латунными болтами и часто дополнительно соприкасающиеся торцевые поверхности магнита и фланцев покрываются клеем БФ (рис. 18, *а*).

При применении магнита кернавого типа в виде полого или сплошного конуса магнитная цепь выполняется в виде закрытого или полуоткрытого магнитопровода. В первом случае магнитопровод состоит из стального стакана, по центру дна которого располагается кернавый магнит, круглого верхнего фланца и полюсного наконечника. Верхний фланец накрывает стакан и имеет отверстие, в которое с зазором входит верхняя часть полюсного наконечника, сидящего на магните (рис. 18, *б*). Во втором случае вместо

стакана используется скоба, верхний фланец имеет поэтому прямоугольную форму, остальные детали остаются теми же. С боков магнитопровод закрывается декоративными крышками из магнитопроводящего материала.

Во всех случаях, вне зависимости от конструкции магнитной цепи, для жесткой фиксации отверстия в верхнем фланце и входящего в него конца керна или полюсного наконечника внизу фланца укреплено центрирующее кольцо, отверстие в котором обеспечивает скользящую посадку керна, то есть соосность его и отверстия во фланце в пределах допусков для данной конструкции.



Рис. 19. Схемы полюсных наконечников магнитных цепей:

a — простейшая; *б* — скос на керне; *в* — фигурный керн; *г* — скос на фланце снизу; *д* — скос на фланце сверху

Детали магнитопровода магнитной цепи изготавливают из мягкой специальной стали, а форма полюсных наконечников — край отверстия в верхнем фланце и конечная часть керна — зависит от величины индукции в воздушном зазоре и требований к равномерности распределения магнитного потока в нем и около него (см. примеры на рис. 19). Получение равномерного поля с симметричными кривыми спада за пределами воздушного зазора магнитной цепи важно для обеспечения требуемого уровня нелинейных искажений и величины среднего стандартного звукового давления, о чем ниже мы остановимся подробнее.

Постоянные магниты применяются литые из сплава ЮНД-4, ранее его называли АН-3, АЛНИ или ЮНДК-24 (АНКО-4), или прессованные из смеси порошка окислов железа и бария. Первые магниты могут быть кольцевыми или керновыми, вторые — только кольцевыми (подробнее см. Приложение III).

Вспомогательная система

Основным элементом вспомогательной системы является диффузородержатель, к остальным относятся крепежные детали всех видов, кольца и прокладки. Диффузородержа-

тель соединяет подвижную и магнитную системы головки громкоговорителя в единую и механически надежную конструкцию. Чаще всего конструктивно диффузородержатель представляет собой чашку с коническими стенками. Диаметр дна чашки соответствует диаметру верхнего фланца магнитной системы, к которой она крепится винтами. Если магнитная система имеет прямоугольный верхний фланец, то диаметр дна диффузородержателя должен соответствовать длине верхнего фланца. Дно диффузородержателя имеет большое центральное отверстие, открывающее воздушный зазор в магнитной системе и отверстия для кре-

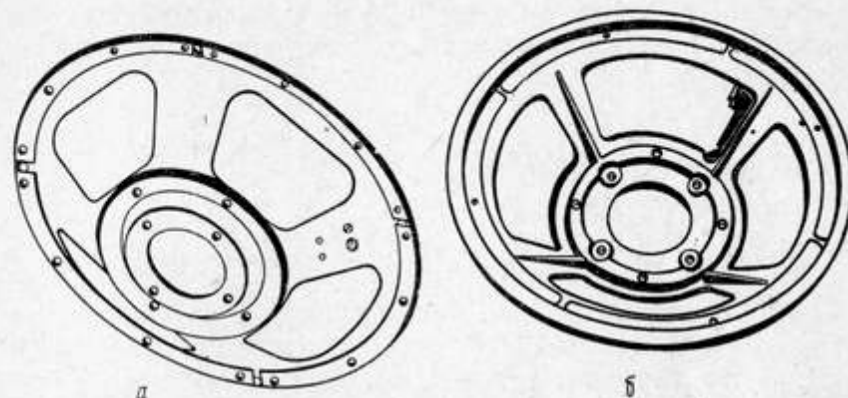


Рис. 20. Типы диффузородержателей:
a — штампованный 4А-28; *б* — литой 2А-9

пежных болтов. Верхний край диффузородержателя переходит в плоское кольцо для закрепления на нем воротника диффузора. Плоская кольцевая часть диффузородержателя имеет отбортовку верхнего края, необходимую для увеличения жесткости, так как этим краем головка громкоговорителя прикрепляется к акустическому оформлению.

В конической боковой поверхности диффузородержателя обязательно имеются большие окна. При отсутствии этих окон воздух, заключенный между внутренней поверхностью диффузора и боковой поверхностью диффузородержателя, при колебаниях подвижной системы будет воздействовать на нее как дополнительная нагрузка, уменьшая отдачу громкоговорителя и ухудшая его частотную характеристику в области низких частот. На поверхности диффузородержателя для увеличения его механической прочности часто

делают дополнительно специальные канавки, называемые зигами или ребрами жесткости.

Диффузордержатели штампуют из специальной конструкционной стали толщиной до 2 мм, отливают из легких сплавов (например, силумин) методами точного литья — в выплавляемый кокиль, — или литьем под давлением, или прессуют из пластмассы (рис. 20). Технологические методы изготовления диффузордержателей определяются мощностью и размерами головок, а также и имеющимся на предприятии оборудованием. Вне зависимости от метода изготовления, конструкция диффузордержателя должна обеспечить механическую и вибрационную прочность головки. Сам же диффузордержатель не должен возбуждаться при работе головки или давать каких-либо заметных призвуков.

§ 2. Акустическое оформление громкоговорителей прямого излучения

Всякое устройство (или конструкция), в котором размещена головка громкоговорителя, необходимо для улучшения акустических условий работы излучателя. Такие устройства в электроакустике поэтому принято называть акустическим оформлением. Следовательно, громкоговоритель прямого излучения как единая конструкция всегда состоит из двух элементов: головки и акустического оформления.

Акустическое оформление простейшего вида является средством борьбы с акустическим «коротким замыканием», возникающим в области частот, длина волны которых больше размеров излучателя, в нашем случае — диффузора. Более сложная конструкция помимо первой задачи выполняет и роль элемента, согласующего излучатель с окружающей средой, воздухом. Ниже, описывая типы акустических оформлений, применяемых в громкоговорителях прямого излучения, мы рассмотрим сущность этих задач. Помимо решения электроакустических задач оформление должно быть сконструировано так, чтобы не являться источником паразитных призвуков и удовлетворять требованиям эксплуатации (вес, габариты, прочность и т. п.). В громкоговорителях прямого излучения применяются следующие типы акустического оформления: акустический

экран, закрытый и открытый ящики и фазоинвертор. Рассмотрим подробно основные их отличительные особенности и электроакустические процессы, связанные с оформлением того или иного типа.

Акустический экран

Экран является простейшим типом акустического оформления громкоговорителя прямого излучения. Его основная задача — устранить или заметно ослабить эффект акустического «короткого замыкания». Для того чтобы предста-

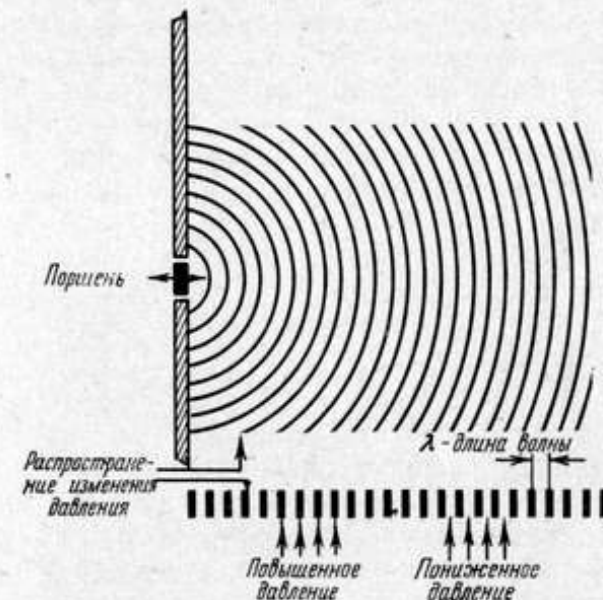


Рис. 21. Схема возникновения звуковой волны

вить физическую сущность этого явления, рассмотрим, что происходит в воздухе, окружающем излучатель. Представим себе, что малых размеров круглый диск (поршень) размещен в стене помещения больших размеров (акустики говорят — в бесконечно протяженном плоском жестком экране) и приведен в движение с одинаковой, но переменной по знаку амплитудой по отношению к нейтральному положению, которое он занимал в состоянии покоя. При движении поршня вправо (рис. 21) происходит смещение частиц воздуха, с ним соприкасающихся, — сжатие, как

говорят физики, и давление увеличивается. Из-за упругих сил, возникающих при изменении взаимного расположения частиц, за зоной увеличенного давления возникает зона пониженного давления, за ней зона увеличенного давления* и т. д. (темные и светлые полосы на рис. 21). При движении поршня влево происходит аналогичный процесс, но при этом картина меняется на обратную, то есть зоны повышенного давления становятся зонами пониженного давления. Частицы воздуха приходят, следовательно, также в колебания, а периодическое изменение знака зон давления приводит к распространению звуковой волны в пространстве спереди поршня. Из рис. 21 видно, что длина волны λ распространяющегося звукового колебания равна расстоянию между центрами двух соседних зон одинакового знака. Чем ниже частота колебаний, тем больше ширина каждой зоны, и соответственно с повышением частоты зоны уплотняются и становятся более узкими.

Это означает, что чем ниже частота, тем больше величина λ , и наоборот.

Величина длины волны может быть определена, если известна частота колебаний f по формуле

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где c — скорость распространения звуковых колебаний (для воздуха в обычных условиях $c = 340$ м/сек). Можно для примера очень просто подсчитать, что для частоты 100 гц $\lambda = 3,4$ м, а для частоты 10 000 гц $\lambda = 0,034$ м = 3,4 см.

В реальных условиях головка громкоговорителя прямого излучения заменяет поршень из рассмотренного нами выше примера. Рассмотрим два случая, изображенные на рис. 22: в первом головка размещена в «бесконечном» экране (а), во втором — без него (б). Предположим, что

* На практике можно проделать опыт и получить картину, аналогичную описанной. Достаточно у берега бросить в спокойную воду камень, как вслед за первым всплеском эта поверхность будет постепенно сморщиваться и превратится в разбегающуюся концентрическими полуокружностями систему выпуклостей и впадин. Хотя волна разбегается от берега все дальше и дальше, движение частиц воды происходит только вверх и вниз от уровня спокойной воды. В этом нетрудно убедиться, если понаблюдать за поплавком. Он тоже придет в колебательное движение, но останется на месте.

диффузор головки сместился вправо от положения равновесия. Тогда для первого случая в прилегающей к диффузору зоне переднего полупространства (правая часть от экрана) имеется фаза сжатия. Такая же зона заднего полупространства — разрежения. При смещении диффузора влево картина изменится на обратную и т. д., то есть в каждом из этих полупространств начнут распространяться звуковые волны. Во втором случае вначале произойдет то же самое. Но как только передняя и задняя звуковые волны достигнут края головки, произойдет немедленно выравнивание давления за счет перемещения воздуха из зоны повышенного давления по одну сторону диффузора в зону пониженного давления по другую его сторону. Подведенная к головке энергия будет затрачиваться теперь не на приведение в колебание всего объема воздуха, а на перекачку его из одной ближней зоны в другую. Происходит, как мы уже говорили, акустическое «короткое замыкание».

В практических условиях первый из рассмотренных нами случаев не выполним, если только не вмонтировать головку в стену помещения, второй — не пригоден для работы. Если же вмонтировать головку в экран ограниченных размеров, то рассмотренное явление будет наблюдаться только на тех частотах, длина волны которых больше половины длины от излучателя до края экрана.

Экран конечных размеров, являясь простейшим видом акустического оформления громкоговорителя, представляет собой щит из плотно соединенных и скрепленных досок или фанеры. Во избежание появления собственных колебаний (дребезжаний) толщина такого щита должна быть 20—30 мм. Выбор размеров экрана зависит от габаритов места установки и нижней граничной частоты номинального диапазона. Чем она должна быть ниже, тем размеры экрана должны быть больше.

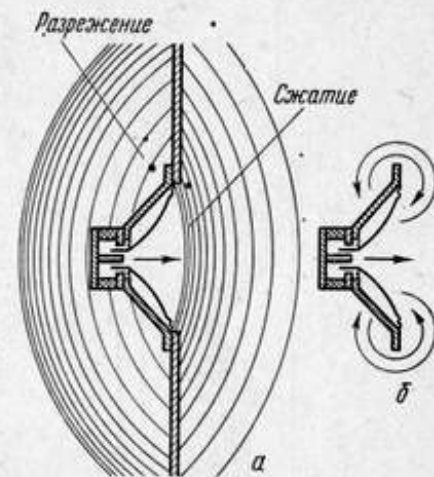


Рис. 22. Акустическое «короткое замыкание»: а — головка в бесконечном экране; б — головка без оформления

В практическом использовании акустический экран теперь применяется редко*. В тех случаях, когда по каким-либо причинам есть необходимость использовать этот тип оформления, нужно обратить внимание на выбор формы экрана и расположение на нем головки.

Как мы уже говорили, при работе головки в точку, находящуюся впереди акустического экрана, будут при-



Рис. 23. Акустические экраны (размеры в см): а — неудачный; б — удачный

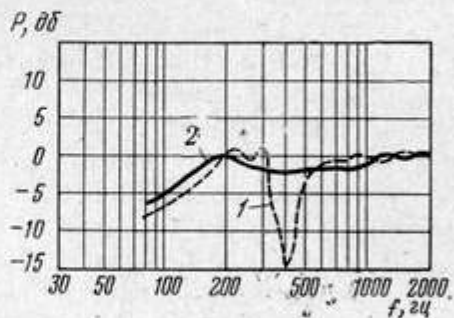


Рис. 24. Зависимость частотной характеристики от формы экрана: 1 — квадратный (0,8 × 0,8 м), отверстие в центре; 2 — прямоугольный (1,0 × 2,0), отверстие смещено от центра

ходить две звуковые волны: одна — возбужденная передней поверхностью диффузора, и другая — возбужденная задней стороной его. Их называют прямой и оборотной.

Прямая и оборотная волны приходят в точку наблюдения с различными фазами колебаний, вызванными разностью пройденного ими пути (разностью ходов).

Они взаимно уничтожаются, если разность ходов будет равна длине волны, так как вызываемое одной волной сжатие совпадает с разрежением, создаваемым другой волной, излучаемой в противофазе.

Длина пути, проходимого прямой волной до точки наблюдения, постоянна, а длина пути оборотной волны до той же точки зависит от размеров экрана, его формы и места расположения на нем головки. Следовательно, от них

же и зависит получающаяся разность ходов прямой и оборотной волн в точке наблюдения.

Для иллюстрации сказанного на рис. 23 приведены два типа акустического экрана: квадратный с центральным расположением головки и прямоугольный, в котором головка смещена по отношению центра. При квадратном экране оборотная волна, огибающая его, проходит путь, примерно равный стороне квадрата.

Если длина волны излучаемого звука близка по величине разности пути, пройденного оборотной волной, в сравнении с прямой, то в точке сложения мы будем наблюдать резко выраженный минимум давления на частоте 420 гц (рис. 24). Действительно, разность хода по кратчайшему пути составляет $400 + 400 = 800$ мм, или 0,8 м (рис. 23, а), а длина волны в точке минимума $340 : 420 = 0,809$ м, то есть практически они совпадают.

Если экран неправильной формы с несимметричным расположением головки (рис. 23, б), волны, огибающие его в разных точках проходят разные пути. Поэтому в точке наблюдения складываются звуковые волны с различными фазами, и частотная характеристика в области низких частот становится ровнее, а резкие провалы на отдельных частотах отсутствуют.

Открытый ящик

В чистом виде акустический экран не нашел практического применения, так как его большие габариты и вес не оправдываются полученными качественными характеристиками громкоговорителя. Однако в практике широкое применение нашли открытые ящики как вид акустического оформления громкоговорителей прямого излучения. Оформлением такого типа является ящик радиоприемника или телевизора, задняя стенка которого для создания благоприятного теплового режима работы деталей схемы имеет перфорацию, то есть акустически прозрачна.

В кинематографии такое акустическое оформление громкоговорителя широко применяется в передвижной аппаратуре. Обычно конструктивно оно решается в виде чемодана с открываемой в рабочем положении задней крышкой или разнимаемого на две половины (рис. 25). Решение конструкции ящика в виде чемодана для передвижной аппаратуры оказалось удобным не только из-за особенностей эксплуатации. Оно позволяет на время транспортировки размещать

* Есть один случай, когда применение акустического экрана предписывается в качестве обязательного — измерение электроакустических показателей головок громкоговорителей (см. ниже).

в нем усилитель, кабель, запасные бобины. Такое решение оправдано необходимостью сбалансировать вес отдельных элементов всего комплекта аппаратуры. Если внимательно рассмотреть открытые ящики, то нетрудно заметить, что с акустической точки зрения они представляют собой неплоские акустические экраны. Размеры таких экранов относительно небольшие и продиктованы необходимостью найти разумный компромисс между габаритами, весом,

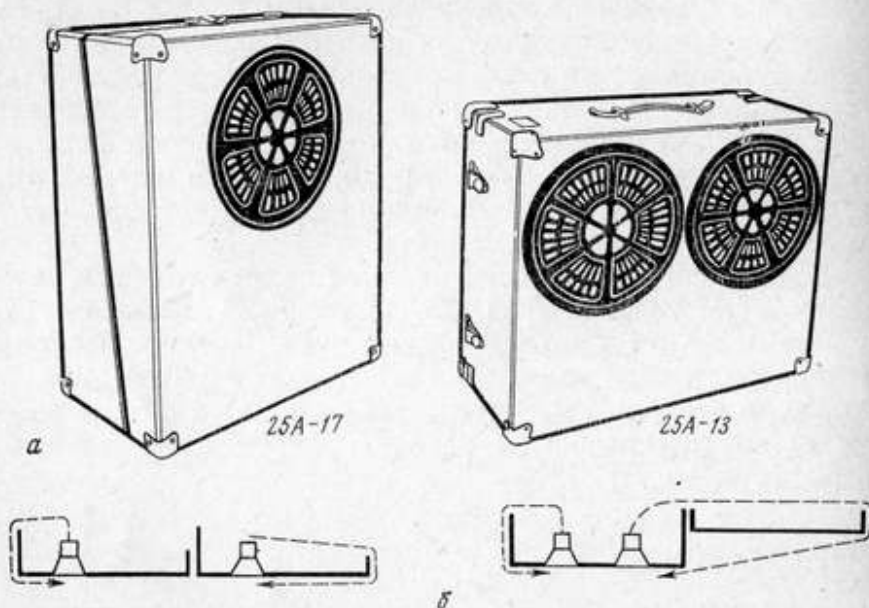


Рис. 25. Экранные ящики кинопередвижек:
а — общий вид; б — схема работы

приемлемым для переноски, и потерей низких частот. На рис. 26 приведена частотная характеристика головки прямого излучения, измеренная при размещении ее в открытом ящике и в стандартном измерительном экране. Несмотря на относительно небольшие размеры последнего, воспроизведение низких частот при размещении головки в открытом ящике заметно хуже, чем в плоском экране. Большая жесткость конструкции открытого ящика в сравнении с плоским экраном позволяет изготавливать его из фанеры толщиной 10—15 мм. Вообще говоря, ящик громкоговорителя может быть изготовлен из любого материала, обеспечивающего прочность конструкции и невозбуждающегося при работе смонтированной в нем головки. Например, в ранее выпус-

кавшемся Самаркандским заводом «Кинап» комплекте передвижного усилителя типа 4КУ-12 ящик громкоговорителя штамповался из листовой стали.

Стоимость материала, дефицитность, удельный вес, прочность и технологичность изготовления — такова сумма показателей, порой противоречивых, которым одновременно должен удовлетворять поделочный материал, идущий на изготовление акустического оформления громкоговори-

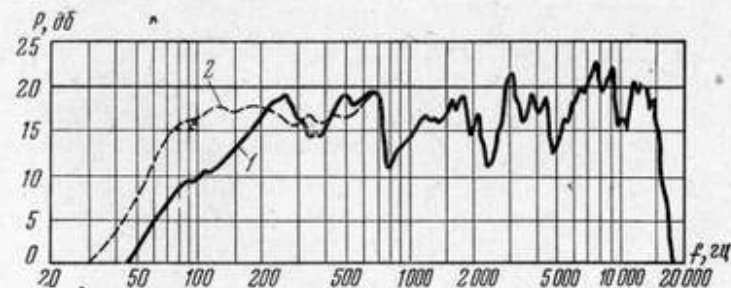


Рис. 26. Влияние акустического оформления на воспроизведение низких частот:
1 — 4А-28 в малом экранном ящике; 2 — 4А-28 в стандартном измерительном экране

телей. В практике производства громкоговорителей уже много лет используют березовую фанеру.

Закрытый ящик

Требованию подавить эффект акустического «короткого замыкания» путем разделения переднего и оборотного излучения лучше всего удовлетворяет закрытый ящик (рис. 27). Головка, в нем размещенная, передней поверхностью диффузора (обращенной в сторону открытого пространства) возбуждает звуковые колебания в воздухе помещения, а задней — в некотором замкнутом объеме, ограниченном стенками ящика. В такой конструкции исключена интерференция звуковых волн переднего и оборотного излучения.

С теоретической точки зрения закрытый ящик обеспечивает и лучшее согласование излучателя со средой на низких частотах. На рис. 28 приведена упрощенная картина частотной зависимости акустической мощности громкоговорителя прямого излучения с акустическим оформлением двух типов: закрытый ящик и плоский экран. В принципе закрытый ящик сохраняет постоянство излучаемой акустиче-

ской мощности вплоть до основного резонанса f_0 подвижной системы головки и уменьшает спад на частотах ниже нее.

Практически второе положительное свойство закрытого ящика как типа акустического оформления существенно меньше проявляется, чем можно было бы ожидать из теоретических выкладок.

Прежде всего, при работе головки в закрытом ящике возникает упругая реакция его воздушного объема, кото-

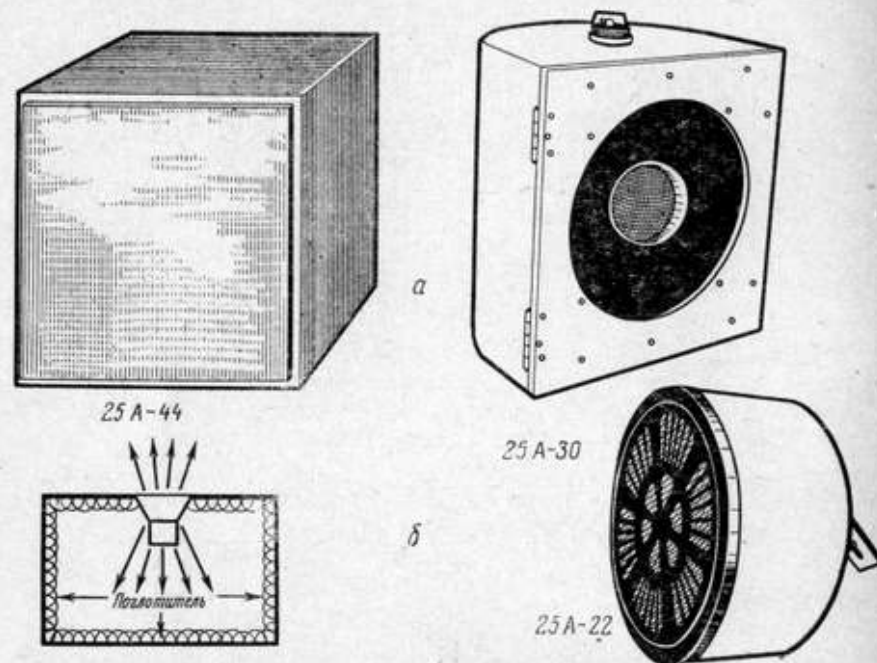


Рис. 27. Закрытые ящики стационарной аппаратуры: а — общий вид; б — схема работы

рая добавляется к упругой силе, развиваемой центрирующими деталями подвижной системы, — шайбе и гофру. В результате суммарная гибкость системы головка — ящик уменьшается, что проявляется в повышении частоты основного резонанса головки, то есть в повышении нижней границы номинального диапазона частот. Так как обычно размеры закрытого ящика не очень велики, то рабочая полоса частот в области низких частот заметно сокращается. Наличие замкнутого объема неприятно еще и потому, что внутри ящика возникают резонансные колебания воздушного объема в той области частот, где его размеры сравнимы с длиной волны или больше ее. Возникающие

резонансные явления значительно увеличивают неравномерность частотной характеристики громкоговорителя в области повышенных частот за счет появления заметных пиков и провалов. Для борьбы с резонансами внутренней поверхности стенок ящика покрывается слоем звукопоглощающего материала или им равномерно заполняется весь внутренний объем. Для этой цели используется капроновая вата, базальтовое волокно или материал АТМ — специальной выделки стекловата.

Хорошо гася вредные резонансы, звукопоглощающий материал поглощает и часть полезной энергии, что проявляется на частотной характеристике громкоговорителя в виде дополнительного плавного спада на частотах ниже 150—200 гц. Отметим, что такие пологие характеристики хорошо корректируются электрическим путем в усилителе. Сумма положительных и отрицательных сторон применения закрытого ящика в качестве акустического

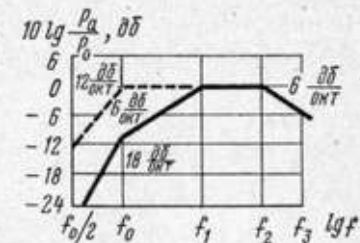


Рис. 28. Частотная зависимость акустической мощности громкоговорителей прямого излучения: — плоский экран; --- закрытый ящик

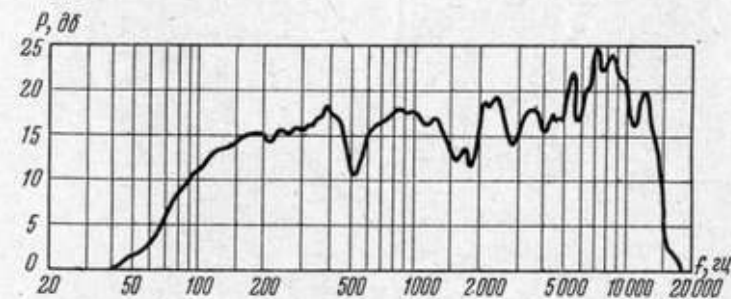


Рис. 29. Частотная характеристика громкоговорителя 25А-44

оформления громкоговорителя учитывается при проектировании громкоговорителя и определяет область его применения.

В кинотеатральной аппаратуре такой тип громкоговорителя применяется в качестве вспомогательных (фойе, подзвучивание отдельных мест в зале, контроль в аппаратной и т. п.). Частотная характеристика одного из таких громкоговорителей приведена на рис. 29.

Фазоинвертор

Ослабление интерференции переднего и обратного излучений диффузора при заметно лучших, чем у экранного и закрытого ящиков, характеристиках в области низких частот и сравнительно небольших габаритах может быть осуществлено применением фазоинвертора. Конструктивно фазоинвертор представляет собой закрытый ящик с вмон-

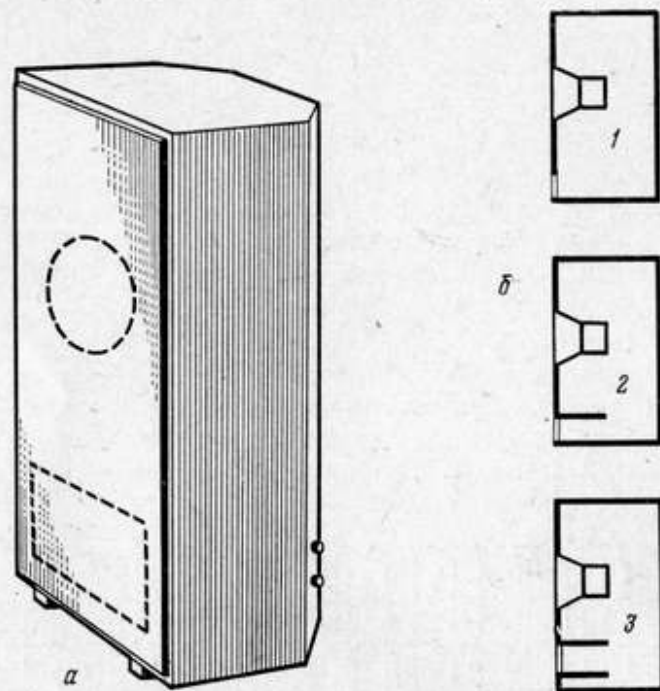


Рис. 30. Устройство фазоинвертора:
а — фазоинвертор громкоговорителя 30А-46; б —
схемы фазоинверторов (1 — простая, 2 — с полкой,
3 — с трубкой)

тированной в нем головкой и отверстием, через которое воздух, заключенный внутри ящика, может сообщаться с окружающей средой. Отверстие, как правило, располагается на той же стенке, что и головка громкоговорителя (рис. 30).

Задача устройства сводится к тому, чтобы обратить (инвертировать) фазу излучения задней стороны диффузора. В этом случае звуковая волна, выходящая из отверстия, и волна, излучаемая передней стороной диафрагмы, должны иметь одинаковые фазы.

Рассмотрим принцип работы фазоинвертора. Подвижная система головки, работающей в ящике, и отверстие в нем для окружающей среды в некотором диапазоне частот являются двумя работающими в фазе излучателями. Оба излучателя представляют собой колебательные системы, свойства которых определяются значением основных физических величин, называемых параметрами. При некотором допустимом упрощении для каждой из указанных систем можно назвать два таких параметра: m_r — масса подвижной системы головки; C_r — гибкость ее подвеса; $m_{я}$ — масса воздуха в отверстии ящика; $C_{я}$ — гибкость объема воздуха ящика.

Схема работы фазоинвертора приведена на рис. 31. Из схемы видно, что обе колебательные системы связаны между собой непосредственно, причем головка является источником возбуждения колебаний другой системы — ящика с отверстием. Акустическую схему можно заменить упрощенной механической моделью. В ней: квадрат m_r изображает массу подвижной системы; упругость* ее подвеса представлена пружиной $\frac{1}{C_r}$, один конец которой закреплен неподвижно, а второй связан с m_r .

Квадрат $m_{я}$ соответствует массе воздуха в отверстии ящика; упругость объема воздуха в нем изображена второй пружиной $\frac{1}{C_{я}}$. Так как в фазоинверторе связь между обеими колебательными массами осуществляется через воздух, заключенный в ящике, то и в модели концы второй пружины закреплены на обоих квадратах.

При медленных колебаниях (низкие частоты) пружина, соединяющая обе массы, не успевает деформироваться,

* Упругость C равна силе, вызывающей единичное смещение, гибкость C равна смещению, вызванному единичной силой, то есть $s = \frac{1}{C}$.

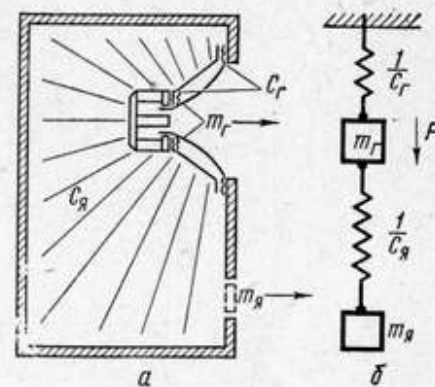


Рис. 31. Схема работы фазоинвертора:
а — акустическая; б — механическая модель

и поэтому они двигаются с одинаковой фазой. По мере приближения к резонансной частоте масса m_n начинает колебаться со все возрастающей амплитудой, пружина $\frac{1}{C_n}$ сильно деформируется, и движение массы m_r тормозится, то есть ее амплитуда колебаний уменьшается.

На частотах выше резонансной частоты системы масса m_n и пружина $\frac{1}{C_n}$ упругое сопротивление пружины $\frac{1}{C_n}$ становится меньше инерциального сопротивления массы m_n , и поэтому движение массы m_r вначале сожмет пружину,

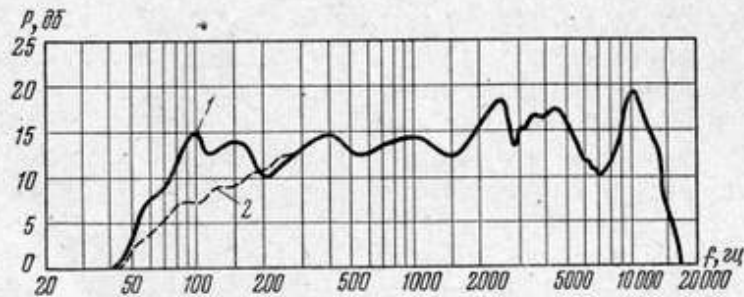


Рис. 32. Частотная характеристика головки 4А-32 в двух акустических оформлениях:

1 — ящик-фазоинвертор; 2 — закрытый ящик

а затем приведет в движение массу m_n . Вторая масса начнет удаляться от первой, то есть синфазность их движения нарушается. При дальнейшем увеличении частоты движение массы m_r будет только деформировать вторую пружину, а масса m_n будет находиться практически в покое.

Возвращаясь снова к фазоинвертору, теперь легко понять, что до частоты резонанса ящика движение диффузора головки и воздуха в фазоинверстном отверстии ящика происходит синфазно. Выше нее синфазность нарушается, а при дальнейшем увеличении частоты отверстие вообще перестает излучать.

Использование фазоинвертора в качестве акустического оформления громкоговорителя прямого излучения позволяет обеспечить подъем частотной характеристики в области низких частот на 4—6 дБ (рис. 32). Благодаря простоте конструкции и хорошим качественным показателям фазоинверсные ящики нашли широкое применение в кинотеатральных громкоговорителях.

Явление фазоинверсии часто пытаются объяснить таким выбором длины пути пробега оборотной волны в ящике, при котором фаза колебаний ее при выходе из отверстия совпадает с фазой передней волны. Ошибочность такого рассуждения становится понятной, если вспомнить, что практически фазоинверсия возможна на частотах до 100—120 гц, то есть для волн длиннее 2,5—3 м. В то же время в правильно рассчитанном фазоинверторе разность путей между акустическими центрами диффузора и отверстия в ящике не превышает 0,7—0,8 м.

§ 3. Методы расширения номинального диапазона частот

Применение фазоинвертора в качестве акустического оформления громкоговорителя прямого излучения является способом расширения его номинального диапазона в области низких частот.

Одновременно улучшение частотной характеристики в этой области достигается и мерами по снижению частоты основного резонанса подвижной системы. Для головки данного типа улучшение конструкции и технологии элементов подвеса — центрирующей шайбы и гофра диффузора — увеличивает их гибкость, что при неизменной массе подвижной системы снижает основной резонанс в область более низких частот. В качестве примера проследим совершенствование головки прямого излучения, применяемой в передвижных комплектах аппаратуры. Практически, не меняя данных звуковой катушки и основных размеров диффузора, частота основного резонанса была снижена со 120 гц в исходном типе (4А-10) до 50—70 гц в головке, выпускающейся в настоящее время (4А-28). В ближайшее время завершатся технологические работы, позволяющие верхний допустимый предел иметь не более 50 гц.

Расширение номинального диапазона громкоговорителя в сторону более низких частот практически может быть реализовано при условии, что высокочастотная область его достаточна для обеспечения условия сбалансированного звучания. В противном случае все предпринятые усилия теряют смысл, так как звучание громкоговорителя будет иметь преобладание низких частот, что приводит к потере разборчивости — «бубнению», как образно принято определять такое звуковоспроизведение. Вот почему необходи-

мость расширения номинального диапазона в область более высоких частот столь же важна, как и первая задача.

Внимательный анализ причин, по которым у обычных широкополосных головок прямого излучения верхняя граничная частота номинального диапазона не превышает $6000 \div 8000$ гц, позволил найти два пути решения проблемы. Рассмотрим каждый из них.

Головки кинотеатральных громкоговорителей имеют многвитковые звуковые катушки. Поэтому увеличение полного электрического сопротивления в области высоких частот, свойственное любой головке электродинамического типа из-за индуктивной составляющей сопротивления катушки (ωL_k), в них особо сильно проявляется.

Современные схемы оконечных каскадов усилителей обеспечивают режим постоянства выходного напряжения в широком диапазоне частот и изменений величины нагрузки.

В реальных условиях работы величина тока, протекающего через звуковую катушку, становится тем меньшей, чем выше ее сопротивление на данной частоте, так как напряжение на ее зажимах постоянно. В результате на высоких частотах потребляемая головкой электрическая мощность падает, а следовательно, и излучаемая ею акустическая мощность также уменьшается. На частотной характеристике головки это проявляется в виде заметного спада ее высокочастотной ветви, хотя по остальным ее электроакустическим параметрам можно было бы ожидать более хороших результатов.

Средство борьбы с эффектом возрастания индуктивного сопротивления было найдено путем размещения внутри воздушного зазора магнитной цепи неподвижного короткозамкнутого витка, индуктивно связанного со звуковой катушкой. Электрическое сопротивление этого витка носит индуктивный характер, но имеет обратный знак по отношению к индуктивному сопротивлению катушки.

С увеличением частоты суммарное индуктивное сопротивление будет расти медленно, так как увеличение индуктивного сопротивления звуковой катушки будет компенсироваться аналогичным ростом сопротивления короткозамкнутого витка (рис. 33).

Соответственно потребляемая головкой электрическая мощность увеличивается, возрастает излучаемая ею акустическая мощность, что и проявляется как повышение звукового давления в области высоких частот — частотная

характеристика громкоговорителя с той же самой головкой улучшается (рис. 34).

На низких и средних частотах величина коэффициента взаимной индукции мала, поэтому заметное компенсирующее действие короткозамкнутого витка проявляется на частотах выше 2000 гц. Конструктивно короткозамкнутый

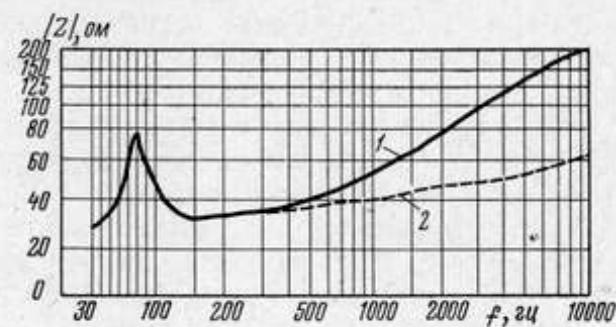


Рис. 33. Частотная зависимость модуля полного сопротивления:

1 — 4А-18А без короткозамкнутого витка; 2 — 4А-18А с короткозамкнутым витком

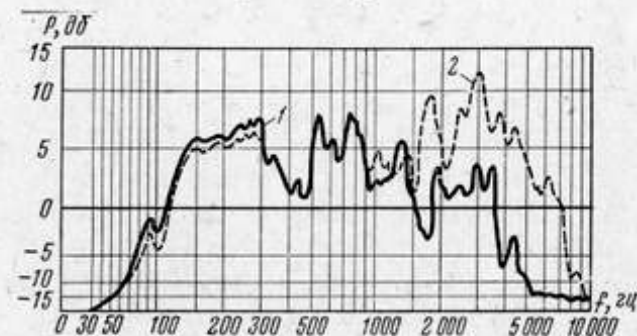


Рис. 34. Частотная характеристика головок 4А-18А в экранированном ящике 25А-13:

1 — без короткозамкнутого витка; 2 — с короткозамкнутым витком

виток выполняется в виде стаканчика из красной меди с толщиной стенок $0,3 \div 0,4$ мм, напрессованного на окончание керна магнитной цепи (рис. 35). Если магнитная цепь используется та же, то для сохранения просвета между звуковой катушкой и керном диаметр последнего уменьшается на суммарную толщину стенок стаканчика. Действующая ширина воздушного зазора и его объем при этом увеличиваются. Как материал (медь), так и конструкция

витка в виде стакана с утолщенным дном выбираются из расчета максимального уменьшения активного сопротивления витка.

В головке с короткозамкнутым витком коэффициент полезного действия незначительно снижается, во-первых, за счет уменьшения величины средней индукции в воздушном зазоре, во-вторых, за счет дополнительных потерь в витке. Суммарно такое снижение незначительно и с избытком перекрывается увеличением излучаемой акустической мощности за счет положительного эффекта компенсации роста полного электрического сопротивления громкоговорителя на высоких частотах.

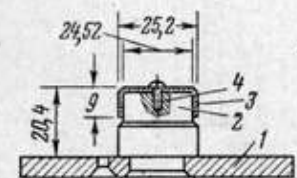


Рис. 35. Конструкция короткозамкнутого витка головки 4А-28 (размеры в мм):

1 — нижний фланец; 2 — керн; 3 — колпачок медный; 4 — заклепка (после напрессовки колпачка на керн на клею БФ-4)

Если рассмотреть, как работает диффузор на разных частотах, то нетрудно заметить вполне определенную закономерность. На низких частотах вся поверхность диффузора колеблется как единое целое с большой амплитудой. С увеличением частоты происходит не только уменьшение амплитуды колебаний поверхности, но и постепенное уменьшение размеров ее эффективно излучающей части. Отключение частей поверхности происходит зонами, начиная от верхнего края конуса (от гофра).

На высоких частотах (несколько килогерц) эффективно излучает только небольшая зона около звуковой катушки (у вершины конуса диффузора), остальная же поверхность колеблется с ничтожно малой амплитудой.

Выход был найден в создании двухконусной подвижной системы, схема которой и общий вид показаны на рис. 36 и 37.

Оба диффузора — большой (основной) и малый (вспомогательный) — имеют общую звуковую катушку и на низких и средних частотах колеблются как одно целое. В области средних частот малый диффузор действует лишь как рассеивающее тело, расширяя несколько диаграмму направленности, то есть способствует более равномерному распределению звуковой энергии в пространстве. Начиная с частот порядка нескольких килогерц, функции звукоизлучения постепенно переходят от большого диффузора к малому и на высоких частотах (до 12÷15 кгц) практически неподвижный большой диффузор играет роль рефлектора.

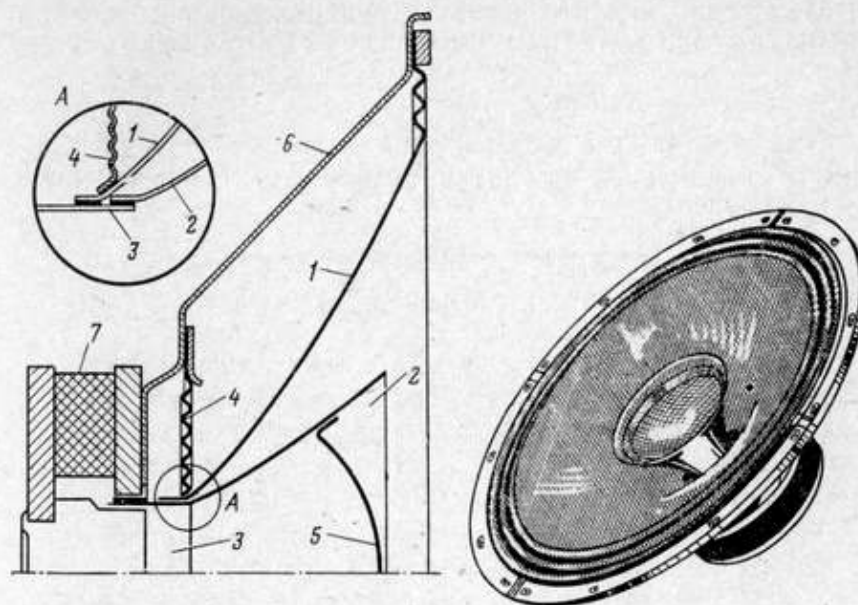


Рис. 36. Схема двухконусной головки 4А-28:

1 — основной конус (диффузор); 2 — дополнительный конус (в.ч. диффузор); 3 — каркас звуковой катушки; 4 — центрирующая шайба; 5 — пылезащитный колпачок; 6 — диффузордержатель; 7 — магнитная цепь (А — схема склейки)

Рис. 37. Широкополосная двухконусная головка 4А-28

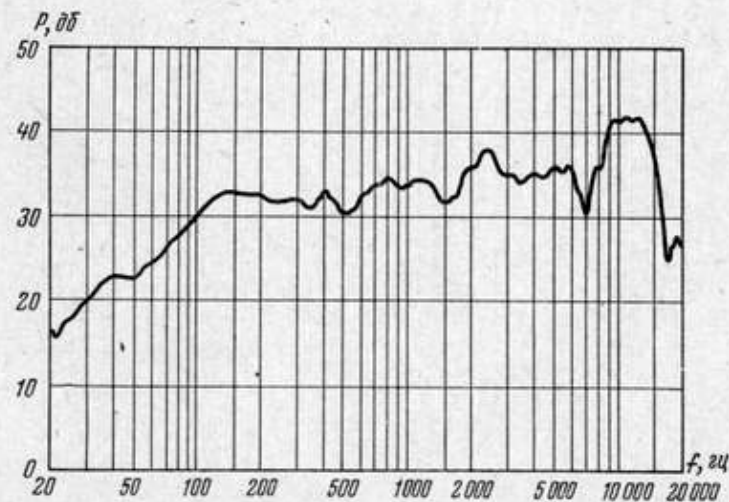


Рис. 38. Частотная характеристика головки 4А-32

Частотная характеристика двухдиффузорной головки приведена на рис. 38. Сравнивая ее с приведенной на рис. 34, нетрудно заметить прирост высокочастотного диапазона за счет второго диффузора.

Вспомогательный диффузор из-за малого угла раскрытия и специальной пропитки бумаги имеет повышенную

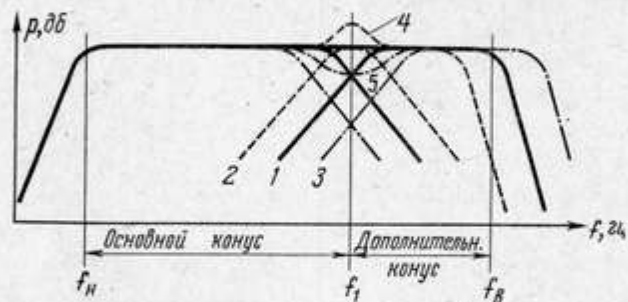


Рис. 39. Схема согласования характеристик основного и дополнительного конусов:

1 — согласованы; 2, 3 — рассогласованы; 4 — в совместной зоне пик; 5 — в совместной зоне провал

жесткость в сравнении с основным диффузором. Размеры его и физико-механические параметры должны быть выбраны

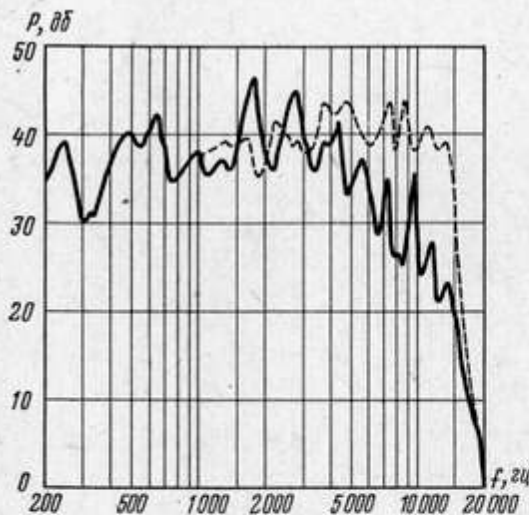


Рис. 40. Частотная характеристика головки 4А-28 с хорошо (.....) и плохо (—) приклеенным высокочастотным конусом

При конструировании двухдиффузорной головки и ее изготовлении особое внимание обращается на обеспечение жесткости соединения каркаса звуковой

катушки с вспомогательным диффузором. Ослабление места присоединения равносильно появлению гибкой связи, из-за которой эффективность излучения дополнительного диффузора на высоких частотах может быть заметно ослаблена или даже сведена к нулю (рис. 40).

§ 4. Основные электроакустические показатели

В конце главы I мы познакомились с основными показателями качества громкоговорителей и методами их измерений. Там же мы установили, что главными являются качественные показатели головок, которые к тому же требуют постоянной проверки. Акустическое же оформление сохраняет свои данные стабильными. Поэтому мы рассмотрим, прежде всего, основные электроакустические показатели (или, как их часто называют, электрические параметры) головок прямого излучения. Влияние акустического оформления на их изменение, то есть соответствующий показатель для всего громкоговорителя, в каждом конкретном случае будет дополнять основной материал.

Полное электрическое сопротивление

Полное электрическое сопротивление головки громкоговорителя выражается сложной зависимостью ряда величин, зависящих от значения и взаимосвязи ее электрических, механических и акустических параметров. Прежде всего, характер полного электрического сопротивления определяется электрическими параметрами головки громкоговорителя, то есть электрическим сопротивлением ее звуковой катушки.

Это сопротивление является комплексным и состоит из активной и реактивной частей. Величину сопротивления можно определить, если затормозить звуковую катушку в зазоре. Вычисляется же оно по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi f L_k)^2},$$

где R — омическое сопротивление постоянному току (активная составляющая); $2\pi f L_k = \omega L_k$ — индуктивное сопротивление (реактивная составляющая); f — частота тока; L_k — коэффициент самоиндукции звуковой катушки.

Индуктивное сопротивление обусловлено противоэлектродвижущей силой самоиндукции, возникающей в катушке при пропускании через нее переменного тока.

Однако при движении звуковой катушки в ней возникает, или, как принято говорить, индуцируется противоэлектродвижущая сила, вызванная пересечением магнитных силовых линий поля в воздушном зазоре магнитной цепи витками катушки. Таким образом, к собственному сопротивлению катушки добавляется еще и внесенное сопротивление.

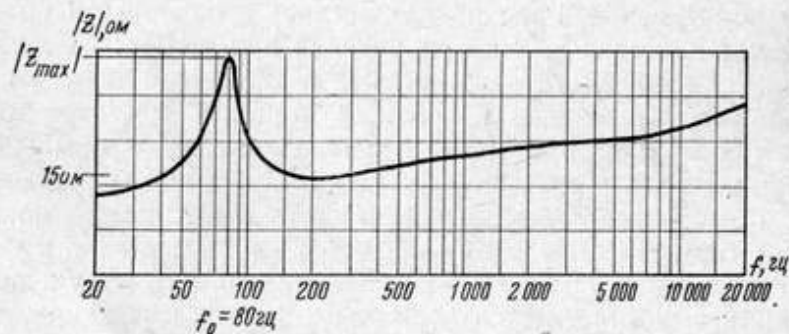


Рис. 41. Частотная зависимость модуля полного электрического сопротивления головки 4А-28

Величина противоэлектродвижущей силы тем больше, чем быстрее движение катушки, то есть чем больше амплитуда ее скорости. Как величина, так и характер внесенного сопротивления разные на разных частотах, что проявляется в наличии характерных точек на кривой частотной зависимости характеристики полного электрического сопротивления головки прямого излучения (рис. 41).

На низких частотах, далеких от области резонанса, реактивная составляющая полного электрического сопротивления не велика, так как индуктивное сопротивление катушки мало из-за низкой частоты тока, а индуцируемая за счет движения катушки противоэлектродвижущая сила незначительна из-за малой скорости движения катушки, то есть внесенное сопротивление также мало. Следовательно, полное сопротивление головки немного больше омического сопротивления звуковой катушки.

При подходе к резонансу амплитуда скорости звуковой катушки резко возрастает и достигает своего наибольшего значения на частоте резонанса ($f_0 = 80$ Гц, рис. 41), затем по мере удаления от резонанса величина ее резко умень-

шается. Точно так же изменяется и величина наводимой за счет движения катушки противоэлектродвижущей силы, достигая максимального значения на частоте резонанса. В соответствии с таким характером изменения величины внесенного сопротивления полное электрическое сопротивление головки прямого излучения в области низких частот имеет резко выраженный пик с точкой максимума на f_0 — частоте основного резонанса подвижной системы. На частотах, лежащих выше резонансной, амплитуда колебательной скорости катушки резко падает, уменьшается противоэлектродвижущая сила индукции и полное сопротивление резко уменьшается. Совершенно очевидно, что для столь низкой области частот величина индуктивного сопротивления катушки столь мала, что повлиять на характер изменения полного сопротивления не может. Заметим также, что реактивная компонента полного электрического сопротивления на частотах до резонансной имеет, следовательно, индуктивный характер, а после нее — емкостный.

После острого пика на частоте основного резонанса характеристика имеет некоторую область малых значений (150–400 Гц) с определенной точкой минимума ($f = 250$ Гц, см. рис. 41). В этой области индуктивное сопротивление катушки все еще мало, а противоэлектродвижущие силы, обусловленные, с одной стороны, самоиндукцией, а с другой, — движением катушки в магнитном поле, имеют равные величины, но почти противоположные фазы. В зависимости от конструктивных особенностей головки, значение полного электрического сопротивления в точке минимума может быть почти равно омическому сопротивлению звуковой катушки (обычно оно на 10% выше его).

На высоких частотах амплитуда скорости звуковой катушки мала, поэтому сопротивление, обусловленное противоэлектродвижущей силой, также мало и перестает играть заметную роль. Однако с увеличением частоты растет индуктивное сопротивление звуковой катушки, поэтому полное сопротивление головки вновь возрастает в сторону высоких частот. Измерение частотной зависимости полного электрического сопротивления головки позволяет определить величину первых двух ее электроакустических параметров — частоту основного резонанса и номинальное сопротивление.

Первый параметр характеризует способность головки обеспечить воспроизведение низких частот, так как значе-

ние частоты основного резонанса определяет величину нижней граничной частоты номинального диапазона при сочетании самых благоприятных условий ее работы в акустическом оформлении. Ниже этого значения частоты головка практически перестает излучать. Из рис. 41 нетрудно определить, что частота основного резонанса соответствует первому максимуму на характеристике полного сопротивления головки. У современных головок прямого излучения величина основного резонанса лежит в пределах от 31 до 71 гц^* .

Второй параметр — номинальное сопротивление — определяется по значению полного сопротивления в минимальной точке характеристики. Величина номинального сопротивления необходима для правильного согласования головки с усилителем, а также определяет соответствие полученного значения указанному в ТУ или другой технической документации. Ряд номинальных сопротивлений нормирован международными соглашениями, в частности для кинотеатральных головок прямого излучения установлено значение номинального сопротивления в 16 ом .

Наличие акустического оформления может несколько изменить ход характеристики полного сопротивления в области частоты основного резонанса. При использовании закрытого ящика частота основного резонанса f_0 повышается тем заметнее, чем меньше объем ящика (рис. 42, а). Если ящик заполнен поглотителем, то высота резонансного пика на характеристике уменьшается, что свидетельствует о демпфирующем действии звукопоглощающего материала. Появление резонансных пиков небольшой величины в области средних частот свидетельствует о наличии нежелательных резонансных явлений во внутреннем объеме ящика. При размещении головки в акустическом экране или открытом ящике частота основного резонанса не изменяется.

Существенное изменение хода характеристики полного сопротивления в области самых низких частот происходит при использовании фазоинвертора (рис. 42, б). На ней появляются две точки максимальных значений на частотах f_1 и f_2 , расположенных симметрично частоте f_0 —

* На основании разработанных международных рекомендаций выпущен ГОСТ на предпочтительный ряд частот (см. стр. 16). Частоты в этом ряду не всегда имеют округленное значение с целью сближения опорных частот, выбираемых при измерениях на синусоидальном и шумовом сигналах, а также средних частот октав или долей их, принятых для музыкальных инструментов.

основному резонансу головки, на которой здесь лежит минимум. Если вспомнить, что головка в фазоинверторе представляет собой две связанные через гибкость объема воздуха в ящике колебательные системы или контура, то такая двугорбая характеристика становится понятной. При точной настройке фазоинвертора обе точки максимальных значений полного сопротивления лежат на одном

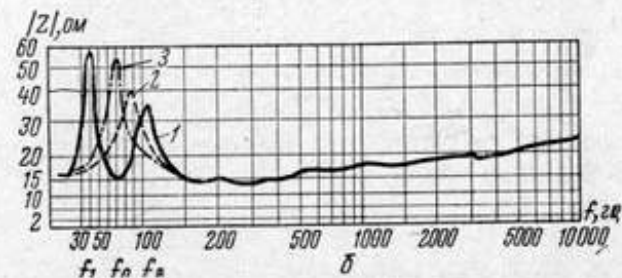
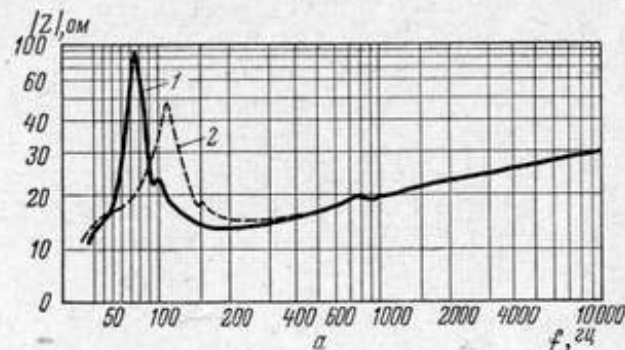


Рис. 42. Частотная характеристика $|Z|$ головки: а — в экранном ящике: 1 — ящик открыт; 2 — ящик закрыт; б — влияние акустического оформления: 1 — головка в фазоинверторе; 2 — головка в закрытом ящике с поглотителем; 3 — головка без акустического оформления

уровне, при его расстройке — величина одного из пиков уменьшается, а второго увеличивается, или наоборот.

Практическое применение ящиков-фазоинверторов показало, что при точной настройке звучание громкоговорителя на низких частотах приобретает неестественный, «бухающий» характер из-за подчеркивания узкой полосы. Наиболее благоприятные субъективно результаты получаются, когда фазоинвертор слегка расстроен так, что высота первого максимума заметно больше высоты второго максимума. Следовательно, по характеристике полного сопротивления громкоговорителя с фазоинверторным ящиком можно судить о том, правильно ли ящик настроен.

Схема лабораторных измерений полного сопротивления показана на рис. 43. Величина R и входного сопротивления самописца должна не менее чем в 20 раз превышать ожидаемую максимальную сумму выходного сопротивления источника сигнала и полного электрического сопротивления громкоговорителя. Величина напряжения, подаваемого на громкоговоритель, должна быть не более $1/10$ величины напряжения, соответствующего его номинальной мощности. Измерения проводятся в обычном помещении, расстояние от громкоговорителя до ближайших отражающих поверхностей должно быть не менее 1 м. Головка измеряется обычно без оформления или может быть помещена в стандартном экране.

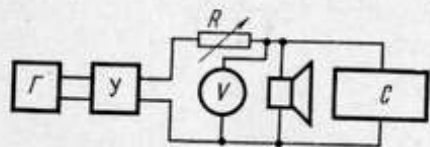


Рис. 43. Схема измерения модуля полного электрического сопротивления головки:

Г — генератор звуковых частот; У — усилитель; R — активное сопротивление; V — вольтметр; С — самописец

тем чтобы по оси ординат (вертикальная ось бланка) была расположена шкала омов.

Номинальный диапазон частот

Для определения номинального диапазона частот, как уже говорилось в главе 1, необходимо измерить частотную характеристику громкоговорителя или головки, то есть снять частотную зависимость развиваемого им звукового давления.

На рис. 44 приведены характеристики такого вида. Рассматривая данные характеристики, как и ранее встречающиеся в тексте, нетрудно заметить наличие на них трех характерных зон. Две из них занимают краевые участки характеристик (самые низкие и высокие частоты), отличительной их чертой является резкое уменьшение давления, развиваемого громкоговорителем.

Средняя, наиболее распространенная зона захватывает часть области низких частот, всю область средних и часть высоких частот. В этой области давление, развиваемое громкоговорителем, поддерживается примерно постоянным

Характеристика наносится на стандартный бланк самописца, который предварительно градуируется с помощью моста активных сопротивлений, с

тем чтобы по оси ординат (вертикальная ось бланка) была расположена шкала омов.

Однако с ростом частоты все больше и больше проявляются отклонения от этого среднего уровня в виде чередующихся пиков и провалов. Для определения границ номинального диапазона частот поступают следующим образом: определяют на частотной характеристике октавную полосу, средняя чувствительность в которой максимальна по отно-

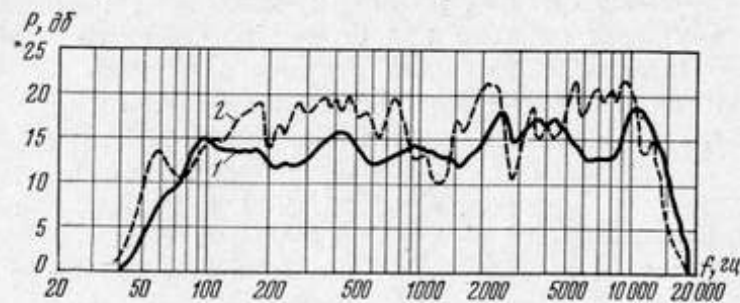


Рис. 44. Частотные характеристики громкоговорителей: 1 — 30А-46; 2 — 30А-68

шению к другим октавам (средняя — некоторый уровень, по отношению к которому соблюдено равенство давлений, превышающих и не достигающих этого уровня). Частоты, лежащие на границах спада, не более 10 дБ относительно

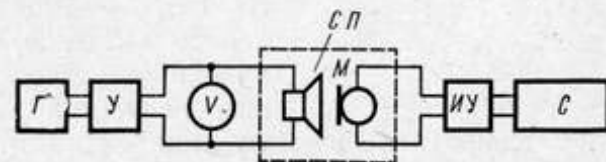


Рис. 45. Схема измерения частотной характеристики громкоговорителя:

Г — звуковой генератор; У — усилитель; V — вольтметр; СП — свободное поле (заглушенная камера, открытый воздух); М — измерительный микрофон; ИУ — измерительный усилитель; С — самописец

этой найденной средней в октаве и определяют номинальный диапазон (рис. 44). В настоящее время установлены требования к номинальному диапазону кинотеатральных широкополосных головок прямого излучения: $31 \div 16\,000$ гц — для высшего класса, $50 \div 12\,500$ и $71 \div 10\,000$ гц — для первого и второго классов соответственно.

Измерение частотных характеристик производится обычно по схеме рис. 45. Испытуемый громкоговоритель и микрофон помещают в заглушенной камере или на откры-

том воздухе. Головка при измерениях монтируется в стандартном экране (рис. 46).

Микрофон располагается на рабочей оси микрофона на расстоянии 1 м или более, в зависимости от размеров излучателя. Величина синусоидального (тонального) напряжения устанавливается соответствующей 0,1 Вт для заглушенной камеры или мощности, необходимой для превышения уровня сигнала над шумом не ниже 10 дБ (но не более номинальной) — для открытого воздуха.

Вернемся к объяснению причин, вызывающих наличие трех характерных для частотной характеристики зон.

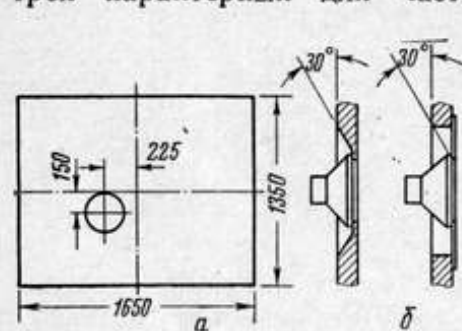


Рис. 46. Стандартный акустический экран для измерения головок громкоговорителей (ГОСТ 16122-70):
а — экран; б — методы крепления головок

r_R — активное сопротивление излучения*. На частотах ниже частоты основного резонанса механическое сопротивление подвижной системы является преимущественно упругим, то есть оно обратно пропорционально частоте. Сопротивление излучения пропорционально четвертой степени частоты.

* Диафрагма излучателя, соприкасаясь со средой — воздухом, вызывает ответную реакцию среды на колеблющуюся поверхность. Величина реакции оценивается некоторым комплексным сопротивлением, имеющим смысл механического сопротивления, действительная часть которого r_R определяет полезный эффект передачи мощности среде (ее излучение). Вспомним, что на промышленных предприятиях проводятся специальные мероприятия по соблюдению или повышению $\cos \varphi$ — коэффициента мощности, определяющего соотношение между активной (производящей работу) и реактивной мощностями переменного тока. Чем больше $\cos \varphi$ (обычно 0,7—0,9), тем большая часть из всей подведенной мощности тратится на полезную работу. Аналогия здесь полная.

Спады частотной характеристики в низкочастотной зоне могут быть объяснены, если еще раз вернуться к рис. 28. В идеальном случае (диффузор работает как поршень) частотная характеристика излучаемой громкоговорителем мощности определяется за-

висимостью $\frac{r_R}{|Z|^2}$ от частоты, где $|Z|$ — модуль (численное значение) полного механического сопротивления громкоговорителя, а

Следовательно, соотношение их пропорционально f^3 , то есть с уменьшением частоты вдвое излучаемая мощность убывает в 2^6 раз, а уровень ее уменьшается на 18 дБ на октаву. При $f > f_0$ (сплошная линия, рис. 28) механическое сопротивление становится преимущественно инерциальным и пропорциональным квадрату частоты. Так как закон изменения r_R прежний, то в области $f_0 < f < f_1$ мощность падает уже только на 6 дБ на октаву. В промежутке f_1 и f_2 обе части отношения меняются пропорционально квадрату частоты и уровень мощности постоянен — начало средней зоны. В промежутке от f_2 до f_3 сопротивление излучения постоянно и соотношение $\frac{r_R}{|Z|^2}$ обратно пропорционально квадрату частоты, то есть уровень мощности вновь уменьшается на 6 дБ на октаву.

Теоретически применением закрытого ящика можно расширить границу постоянства мощности до f_0 и уменьшить спад ее ниже частоты основного резонанса (пунктир на рис. 28), однако практически эта возможность может быть реализована лишь частично.

Применение ящика-фазоинвертора улучшает положение (см. § 2), но в реальных условиях нижняя граничная частота номинального диапазона всегда лежит выше частоты основного резонанса подвижной системы головки.

В области средних и в особенности высоких частот ($f > f_3$, рис. 28) диффузор даже приближенно не может рассматриваться как жесткий поршневой излучатель. Проявление этого эффекта и объясняет своеобразный ход частотной характеристики громкоговорителя в средней зоне.

Рассмотрим, что происходит с диффузором, когда к его вершине (со стороны звуковой катушки) прилагается электродинамическая сила (рис. 47), действующая в осевом направлении и распределенная по окружности вершины диффузора. Сила F может быть разложена на две составляющие: F_1 и F_2 . Сила F_1 будет направлена вдоль образующей диффузора, сила F_2 — под прямым углом к ней. Силы F_1 и F_2 поэтому называются продольной и поперечной — они возбуждают в диффузоре два вида колебаний,

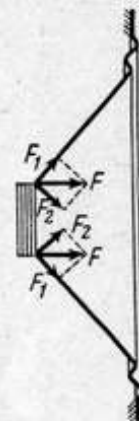


Рис. 47. Разложение на составляющие силы, приложенной к диффузору

называемых соответственно продольными и поперечными.

В результате возбуждения поперечных колебаний в образующей диффузора возникает поперечная волна, распространяющаяся от вершины к основанию. Если частота колебаний низкая, то длина волны значительно больше длины образующей диффузора, то есть все его точки колеблются с одинаковой амплитудой и фазой, а диффузор колеблется как единое целое.

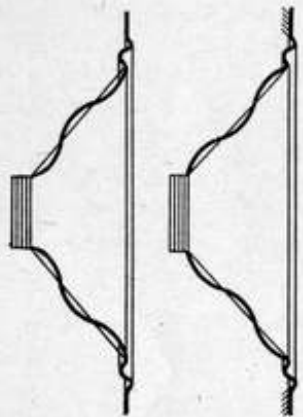


Рис. 48. Поперечные колебания поверхности конического диффузора

Но лишь только длина волны становится сравнимой с размерами диффузора, точки на его поверхности начинают колебаться с различными амплитудами и фазами, а диффузор теряет жесткость.

В зависимости от частоты, эти колебания будут симметричными (для частот выше 2000 гц) или несимметричными (для частот 500÷2000 гц).

В частности, могут быть даже получены узловые круги, являющиеся результатом образования стоячих волн от наложения прямой волны и волны, отраженной от закрепленного верхнего края диффузора (рис. 48). Поверхность диффузора разделяется на зоны, колеблющиеся в противофазе, а это означает взаимную компенсацию излучений соседних зон. Сопротивление излучения также начинает меняться с ростом частоты нерегулярно, проходя через максимальные и минимальные значения.

Величина излучаемой акустической мощности зависит от числа и площади зон, колеблющихся в противофазе, что и проявляется в появлении пиков и провалов на частотной характеристике в средней зоне.

Значение частоты f_3 — границы поршневого действия — зависит от скорости поперечных волн и длины образующей диффузора. Для головок кинотеатральных громкоговорителей граница поршневого действия лежит в пределах 400÷600 гц. На высоких частотах вследствие уменьшения амплитуды колебаний в направлении к внешнему краю диффузора (гофру) сопротивление излучению убывает с возрастанием частоты. Хотя механическое сопротивление ($|Z|$)

из-за частотного распределения узлов и пучностей колебаний также имеет максимальные и минимальные значения, однако в нем преобладает инерциальная составляющая, связанная с массой звуковой катушки и внутренней частью вершины диффузора. Поэтому величина $|Z|$ возрастает с увеличением частоты и соотношение $\frac{rR}{|Z|^2}$ убывает с крутизной порядка 8—10 дб на октаву.

Фактически на высоких частотах происходят более крутые спады и граничная частота ниже теоретической. Принятием мер, рассмотренных ранее (см. § 3), удастся исправить положение и существенно улучшить частотную характеристику головок прямого излучения в высокочастотной области.

Дополнительные пики и провалы в низкочастотной части средней зоны могут быть вызваны возникновением вредных резонансных явлений внутри ящика из-за его неудачной конструкции.

Среднее стандартное давление

Как уже ранее говорилось, среднее стандартное давление может быть вычислено (см. I § 3). Такая операция довольно громоздка, и на практике с достаточной точностью величина среднего стандартного давления может быть получена измерением на шумовом сигнале (см. Приложение IV).

Для кинотеатральных громкоговорителей прямого излучения величина среднего стандартного давления лежит в пределах 0,2—0,35 н/м²; для головок, подлежащих перспективной разработке, установлена норма в 0,4 н/м². Акустическое оформление громкоговорителей прямого излучения в лучшем случае может несколько увеличить это значение, практически оно остается неизменным.

Измерение среднего стандартного звукового давления шумовым сигналом производится по схеме, аналогичной схеме на рис. 45. Только генератор синусоидального (тонального) сигнала заменяется генератором сигнала сплошного спектра*, а между ним и мощным усилителем включается фильтр, ограничивающий спектр шума номинальным диапазоном частот испытуемого громкоговорителя.

* Иначе — генератор широкополосного шумового сигнала. Для измерения применяется так называемый розовый шум (см. Приложение IV).

Остальные условия испытаний остаются такими же, что и при измерении частотной характеристики. Применение шумового сигнала позволяет при необходимости производить измерение и в обычном помещении.

Обычно на громкоговоритель подается напряжение, соответствующее мощности 0,1 *вт* ($U_{ш} = \sqrt{0,1Z}$, где Z — номинальное сопротивление громкоговорителя). Если установка специально градуирована, то значение стандартного давления может быть получено сразу. При этом оно равно среднему стандартному, если расстояние l между микрофоном и громкоговорителем было 1 м, а мощность P_s была 0,1 *вт*. При других значениях l и P_s искомая величина находится пересчетом:

$$P_{ст. ср} = P_{ст} \frac{l}{\sqrt{10P_s}}$$

Если специальной градуировки установки не делалось, то среднее давление определяется по формуле:

$$P_{ср} = \frac{U'_{ш}}{\epsilon_{0 ср} \cdot k},$$

где $U'_{ш}$ — напряжение на выходе измерительного усилителя; $\epsilon_{0 ср}$ — средняя чувствительность микрофона в номинальном диапазоне частот измеряемого громкоговорителя; k — коэффициент усиления измерительного усилителя (без него $k = 1$).

Коэффициент полезного действия (к. п. д.)

Громкоговорители прямого излучения в силу особенностей самого преобразователя не могут иметь большое значение коэффициента полезного действия. В качестве примера рассмотрим идеализированный случай, представляя головку громкоговорителя в виде жесткого поршня, односторонне излучающего, и беря диапазон частот, в котором излучаемая акустическая мощность постоянна.

В этом случае излучаемая громкоговорителем акустическая мощность

$$P_a = \frac{1}{2} v_m^2 \cdot r_R,$$

где v_m — амплитуда колебательной скорости диффузора.

Так как сопротивление излучения в данном случае изменяется пропорционально квадрату частоты, то P_a

будет постоянно при условии изменения амплитуды скорости обратно пропорционально частоте.

Для колебательных систем последнее условие может быть соблюдено, если инерциальное сопротивление $2\pi f m$ существенно преобладает над всеми остальными составляющими полного механического сопротивления, в том числе и сопротивления излучения r_R . Из элементарного курса физики известно, что механическая колебательная система тем эффективней, чем за большее время она расходует первоначально сообщенную ей энергию. Показателем такой эффективности служит декремент затухания, равный отношению активного сопротивления к инерциальному

$$\left(\alpha = \frac{r}{2\pi f m} \right).$$

Так как в рассматриваемом случае активным сопротивлением является сопротивление излучения, то, учитывая предыдущее условие сохранения постоянства излучаемой мощности ($2\pi f m \gg r_R$), следует с грустью констатировать, что у головки прямого излучения декремент затухания мал и эффективность такого преобразователя принципиально не может быть значительной.

Для данного случая к.п.д. громкоговорителя может быть подсчитан по упрощенной формуле:

$$\eta = 2,55 \cdot 10^{-18} \frac{B^2 \cdot V_k \left(\frac{S}{m} \right)^2}{\delta},$$

где B — средняя индукция в воздушном зазоре магнитной цепи; V_k — объем провода звуковой катушки; δ — его удельное сопротивление; S — площадь излучающей поверхности; m — общая колеблющаяся масса (масса подвижной системы плюс присоединенная масса воздуха, непосредственно примыкающего к диффузору).

Из теоретической формулы к.п.д. следует, что единственно эффективный путь увеличения его состоит в повышении величины B — средней индукции. Однако этот путь ограничен технико-экономическими соображениями, так как, с одной стороны, заметно увеличивается стоимость головки, ее габариты и вес, а с другой, — железо магнитопровода при индукциях 12 000–16 000 *гс* (гаусс) насыщается и становится плохим проводником магнитного поля.

Мы уже говорили, что в практику начинает входить относительно несложная методика измерения к.п.д. в реверберационной (гулкой) камере на шумовых сигналах.

Измерение производится по схеме рис. 49 путем подачи на зажимы громкоговорителя напряжения постоянной величины $1/3$ -октавных полос шума со средними частотами, соответствующих нормированному ряду. Снимается ряд частотных характеристик уровня звукового давления при стольких положениях измерительного микрофона, чтобы была обеспечена общая среднеквадратичная погрешность в ± 2 дБ в диапазоне выше 315 гц и $\pm 2,5$ дБ — в диапазоне ниже 315 гц. Характеристики усредняются и в последнюю вносятся поправки на неравномерность чувствительности измерительного микрофона в диффузном поле (поле с рав-

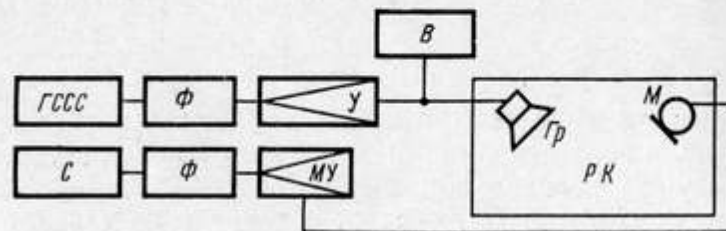


Рис. 49. Схема измерений номинального к.п.д. и акустической мощности:

ГССС — генератор сигналов сплошного спектра (розового шума); Ф — фильтры; У — оконечный усилитель; МУ — микрофонный усилитель; С — самописец; Гр — испытываемый громкоговоритель; М — измерительный микрофон; В — среднеквадратичный вольтметр; РК — реверберационная (гулкая) камера

номерно распределенной в нем звуковой энергией) и неравномерность частотной характеристики времени стандартной реверберации в камере*. Скорректированная таким образом частотная характеристика уровня звукового давления по форме совпадает с частотной характеристикой номинального к.п.д. На бланке отмечается уровень, соответствующий уровню к.п.д., — 20 дБ (1%).

Средний номинальный к.п.д., указываемый в технических показателях громкоговорителя, может быть вычислен по частотной характеристике к.п.д. как среднеарифметическое из значений для тех из полос, которые входят в номинальный диапазон частот.

Средний номинальный к.п.д. может быть определен с помощью измерения громкоговорителя широкополосным шумовым сигналом. Для этого измеряют средний уровень

* Подробно все требования изложены в нормали Норм-кино 219—67 «Громкоговорители кинотеатральные. Методы измерения акустической мощности, коэффициента полезного действия и нелинейных искажений».

звукового давления (см. стр. 81), вычисляют по определенной формуле акустическую мощность и находят к.п.д. по формуле:

$$\eta = \frac{P_a}{U^2 \cdot Z_n} \cdot 100 (\%),$$

где U — напряжение; Z_n — номинальное сопротивление головки.

Средний номинальный к.п.д. современных кинотеатральных громкоговорителей в зависимости от применяемых головок и оформления колеблется от -27 до -24 дБ (от 0,2 до 0,4%). Для вновь разрабатываемых головок прямого излучения также установлена норма в -24 дБ (0,4%).

Нелинейные искажения

В громкоговорителях прямого излучения нелинейные искажения возникают в их головках. Основными причинами нелинейных искажений, возникающих в головках, являются нелинейная упругость системы подвеса (центрирующая шайба и гофр диффузора) и осевая неоднородность магнитного поля в воздушном зазоре магнитной цепи.

Идеальным подвесом подвижной системы был бы такой, у которого во всем рабочем диапазоне амплитуд смещения диффузора сохранилась бы линейная зависимость между смещением и величиной действующей силы (закон Гука). Иными словами, величина смещения всегда была бы пропорциональна силе.

В действительности при сравнительно больших амплитудах смещения (2,5—3 мм на низких частотах) упругие силы сопротивления центрирующего кольца и гофра возрастают быстрее, чем смещения, и пропорциональность между ними и действующей силой нарушается.

Возникающие при этом нелинейные искажения симметричны, то есть приводят к появлению нечетных гармоник (3-й, 5-й и т. д.), величина которых быстро растет с уменьшением частоты.

Неоднородность магнитного поля в зазоре (рис. 50) при синусоидальном сигнале практически не вызывает искажений, если кривая распределения имеет плоскую вершину и одинаковые спады по краям, а звуковая катушка расположена симметрично. При нарушении этого правила величина коэффициента электромеханической связи V_l изменяется по-разному при движении катушки в обе стороны от нейтрального положения, то есть меняется вели-

чина электродинамической силы F и выходной сигнал (форма звуковой волны) искажается.

Во всех случаях положение ухудшается, как только громкоговоритель должен воспроизвести одновременно два сигнала: низкочастотный и высокочастотный, что неизбежно при воспроизведении обычного звукового материала. Низкочастотный сигнал f_n вызывает большую амплитуду смещения катушки и меняет коэффициент электромеханической связи с периодом, значительно превышающим высокочастотный f_v сигнал. Высокочастотное колебание модули-

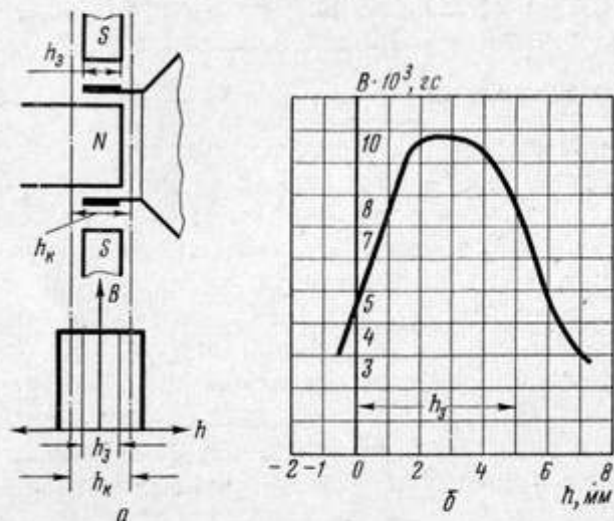


Рис. 50. Идеальная (а) и реальная (б) кривые распределения индукции в воздушном зазоре магнитной цепи головки

руется при этом по амплитуде, а в спектре воспроизводимого сигнала появляются дополнительные частоты $f_n \pm n \times f_n$ ($n = 1, 2, 3$ и т. п.), как следствие нелинейности.

Наряду с нелинейными искажениями своеобразные искажения могут возникнуть в головке прямого излучения при некотором (пороговом) значении подводимой электрической мощности. Возникающие при этом призвуки очень заметны и существенно портят качество звучания. В силу своих особенностей процесс возникновения таких искажений называется параметрическим возбуждением диффузора головки и является следствием воздействия на поверхность диффузора продольной составляющей осевой электродинамической силы F (F_1 на рис. 47). Так как внешний

край диффузора зажат на диффузордержателе и смещаться не может, то при увеличении мощности величина силы F_1 может оказаться достаточной для образования продольного изгиба (рис. 51).

Изгиб образующей (внутри или наружу диффузора) возможен только в тот момент, когда продольная составляющая направлена к внешнему краю диффузора, то есть через время, равное периоду колебаний катушки. За это же время происходит движение образующей от одного крайнего положения к другому, то есть

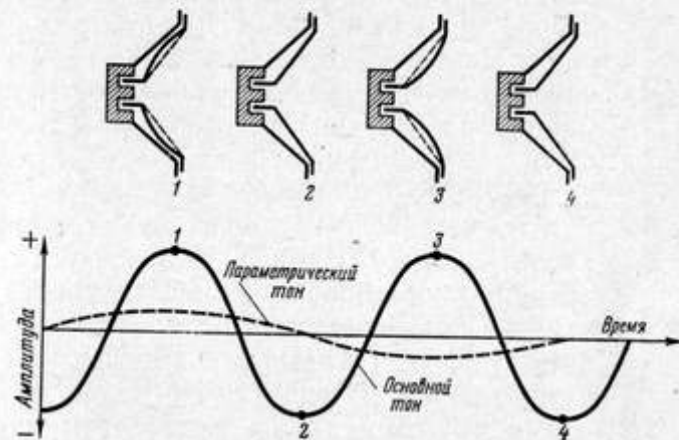


Рис. 51. Параметрические колебания диффузора с прямой образующей

период колебаний образующей равен половине периода поперечного колебания.

Следовательно, частота возникающих колебаний равна половине частоты тока, подведенного к катушке, что вызывает появление в воспроизводимом звуке резко различаемых негармоничных призвуков, воспринимаемых слушателем как дребезжание. Параметрические искажения возникают на частотах 500–3000 гц. Это явление отсутствует или, в худшем случае, сильно ослаблено в диффузорах с криволинейной образующей (рис. 52), так как при продольном сжатии такой диффузор всегда будет прогибаться в сторону уже имеющегося изгиба. По этой причине в настоящее время диффузоры с прямолинейной образующей применяются редко и только в маломощных головках.

Измерение коэффициента нелинейных искажений производится по схеме рис. 49 и в тех же условиях. Уровень

продуктов искажений регистрируется при настройке фильтров в приемной части схемы на полосу со средней частотой вдвое, втрое и т. д. большей и вдвое меньшей средней частоты полосы настройки фильтра в передающей части измерительной схемы. По результатам измерений определяется акустическая мощность продуктов искажений и вычисляется коэффициент нелинейных искажений или его уровень (как отношение измеренной мощности к средней акустической мощности, излучаемой громкоговорителем в номинальном диапазоне частот).

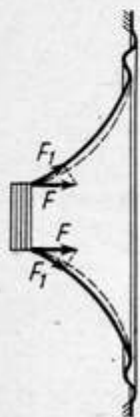


Рис. 52. Изгиб диффузора с криволинейной образующей

Местный, или осевой, коэффициент нелинейных искажений (на оси громкоговорителя или в точке, находящейся под углом к ней) измеряется так же, но громкоговоритель и микрофон размещаются в свободном поле (заглушенная камера, открытый воздух).

Результаты измерений для различных частот, нанесенные на бланк, дают частотную характеристику нелинейных искажений. Для практического использования достаточно измерить коэффициенты нелинейных искажений второго и третьего порядков, так как интенсивность их далее резко падает и существенного влияния на результаты коэффициенты более высоких порядков не оказывают.

В технической документации принято указывать общий коэффициент нелинейных искажений или его уровень (геометрическая сумма коэффициентов всех порядков). Так, для современных кинотеатральных громкоговорителей прямого излучения общий уровень нелинейных искажений лежит в пределах от 35 до 28 дБ (от примерно 1,8 до 4%). На низких частотах нелинейные искажения допускаются существенно большими — до 5% на частотах до 100 гц и 10% на частотах до 60 гц, на средних и высоких частотах их величина не должна быть более 3 и 1% соответственно. Такое нормирование, с одной стороны, обеспечивает реальность выполнения громкоговорителя, а с другой, — вполне хорошее качество его работы, так как человеческое ухо на низких частотах мало чувствительно к искажениям и начинает различать их уже только после указанных выше величин.

Величина нелинейных искажений является важным показателем еще и потому, что установленная норма

определяет величину номинальной мощности громкоговорителя.

Определение номинальной мощности или проверка указанной величины сводится к измерению общего коэффициента нелинейных искажений. В первом случае мощность шумового сигнала постепенно увеличивают, пока измеренная величина не будет соответствовать значению коэффициента искажений, оговоренных в технической документации на громкоговоритель. Удвоенное значение электрической мощности шумового сигнала и есть его номинальная мощность. Во втором случае при подведении к громкоговорителю мощности шумового сигнала, равного половине его номинальной мощности, измеренный коэффициент нелинейных искажений должен соответствовать указанному в документации.

Исходя из ранее приведенных значений общего коэффициента нелинейных искажений, головки прямого излучения кинотеатральных громкоговорителей имеют номинальную мощность 3, 6 и 12 вт, а максимальную — 6, 12 и 25 вт.

§ 5. Промышленная аппаратура

Основные сведения о кинотеатральных громкоговорителях с широкополосными головками прямого излучения, выпускаемых промышленностью в составе комплектов звуковоспроизводящей аппаратуры с 1958 года, приведены в табл. 1. Одновременно в ней приведены данные о громкоговорителях этого типа, входящих в комплект аппаратуры звукоусиления и звуковоспроизведения для больших киноконцертных залов и залов многоцелевого назначения (от 2000 до 6000 мест). Эта же аппаратура используется для звукофикации закрытых спортивных сооружений.

В табл. 2 приведены типы широкополосных громкоговорителей прямого излучения, в которых использованы кинотеатральные головки, применяемые для комплектования студийной аппаратуры записи и перезаписи звука.

Не касаясь подробностей конструкции и применения, отметим только, что отличительной особенностью кинотеатральных громкоговорителей является малое число типов головок (практически четыре типа), использованных в 14

Кинотеатральные громкогово-

Основные данные	Тип гром					
	25-13	25А-17	25А-21	25А-22	25А-24	25А-32
Тип головки громкоговорителя	4А-28		4ГД-28к ²		4А-28	4ГД-28к ²
Максимальная мощность головки, <i>вт</i>	6		4		6	4
Количество головок в громкоговорителе	2		1			
Максимальная мощность громкоговорителя, <i>вт</i>	12		4		6	4
Тип комплекта звуковоспроизведения	КУУП-56	КПУ-52 ⁴	КУСУ-52С	КЗТУ-1; КЗТУ-3	КЗВС-3	
Назначение громкоговорителя в комплекте	Экранный		Контрольный	Амбиофонический	Контрольный	
Количество громкоговорителей в комплекте	1	(1/2)×2 ⁵	1	1	Уточняется при заказе	3

¹ В тропическом исполнении этот громкоговоритель имеет шифр

² Головка поставляется радиопромышленностью. Отличается от ранее в этих громкоговорителях применялась головка 4ГД-7к, от сплава ЮНДК-24 вместо кольцевого прессованного типа 2БА.

³ 4А-27т — тропическое исполнение. Отличается от 4А-28 только

⁴ Комплект КПУ-52 часто называют «Школьный».

⁵ Каждая половина ящика 25А-17 представляет собой громкого

⁶ В комплектах «Звук» 1×25; 4×25; 1×50 и 4×50 в качестве 0,15ГД-III-2.

рители прямого излучения

коговорителя

25А-34	25А-40 ¹	25А-44	25А-46	30А-46	25ГДО-1					
4А-27т ³	4А-28			4А-32	25ГДН-5					
6				12	10					
2		1								
12		6		12	10					
КУУП-56т	КПУ-61	«Звук» ⁶				25УЗС-1				
		1×25	4×25	1×50	4×50		«Звук» 6×50; 6×100	«Звук» 1×25 6×50 6×100		
Экранный		Зальный; фойе		Контрольный	Экранный	Зальный; фойе	Зальный			
1		1	11	2	16	4	2	12	24	9

25А-40Т.

головки 4ГД-28 номинальным сопротивлением — 15 вместо 4,5 *ом*.
чающаяся от 4ГД-28к только типом магнита — литой керновой из

магнитом — kern из ЮНДК-24 вместо кольца из 2БА.

воритель.

контрольных применяются абонентские громкоговорители типа

Основные данные	Тип гром					
	25-13	25А-17	25А-21	25А-22	25А-24	25А-32
Номинальный диапазон частот, гц	70 ÷ 12 000		100 ÷ ÷ 10 000	120 ÷ ÷ 10 000	90 ÷ ÷ 12 000	100 ÷ ÷ 10 000
Неравномерность частотной характеристики, дб	16					
Номинальное сопротивление, ом	30		15			
Номинальное напряжение, в	—					
Год освоения серийного производства	1964	1958 ¹	1959	1960	1961	1963
Изготовитель	ЛО					

¹ До 1962 года эти громкоговорители комплектовались головкой

типах громкоговорителей прямого излучения. При этом большинство громкоговорителей отличается только деталями их акустического оформления.

Развивая эту благоприятную тенденцию, в громкоговорителях аппаратуры типа «Звук» заводы-изготовители также проводили жесткую унификацию размеров головок и громкоговорителей, что значительно облегчило работу эксплуатационников.

коговорителя					
25А-34	25А-40	25А-44	25А-46	30А-46	25ГДО-1
70 ÷ 12 000		80 ÷ 12 000	100 ÷ ÷ 12 000	60 ÷ 14 000	100 ÷ ÷ 6000
16					20
30		—			15
—		60			—
1963	1965	1967			1958
МО		ЛОМО; Самарканд. з-д «Кинап»	ЛОМО	ЛОМО; Самарканд. з-д «Кинап»	Самарканд. з-д «Кинап»

4А-18А.

Таблица 2

Кинотеатральные громкоговорители прямого излучения, применяемые в аппаратуре записи и перезаписи

Основные данные	Тип громкоговорителя		
	25А-22	25А-30	30А-44
Тип головки громкоговорителя	4ГД-28к	4А-28	4А-32

Основные данные	Тип громкоговорителя		
	25А-22	25А-30	30А-44
Максимальная мощность головки, <i>вт</i>	4	6	12
Количество головок в громкоговорителе	1		
Максимальная мощность громкоговорителя, <i>вт</i>	4	6	12
Тип студийного комплекта	КЗМ-15	КПЗ-16; КПЗ-18	КПЗ-15 КЗМ-14
Назначение громкоговорителя в комплекте	Контрольный		
Номинальный диапазон частот, <i>гц</i>	120 ÷ 10 000	90 ÷ 12 000	60 ÷ 14 000
Количество громкоговорителей в комплекте	1	2	1
Неравномерность частотной характеристики, <i>дб</i>	16		
Номинальное сопротивление, <i>ом</i>	15		
Год освоения серийного производства	1960	1963	1967
Изготовитель	ЛОМО		

3

РУПОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ
ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Характерной особенностью громкоговорителя прямого излучения и основным его недостатком является малый к. п. д. электроакустического преобразования. Длительное время попытки улучшения этого важного показателя не имели успеха. Решение задачи было найдено после создания нового акустического элемента — рупора, а также принципиальных изменений в самом источнике звука — в головке.

Только после появления второго типа электродинамического громкоговорителя — рупорного, с особенностями которого мы познакомимся ниже, была создана база для поисков новых конструкций, обеспечивающих общее резкое улучшение качественных показателей кинотеатральных громкоговорителей.

§ 1. Назначение рупора

Если диафрагма излучателя непосредственно воздействует на упругую среду, то возникающие в ней колебания распространяются от источника звука сразу во все стороны

среды, которая его окружает. В однородной среде возникает шаровая звуковая волна. Следовательно, энергия излучателя распространяется в ней по поверхности, величина которой увеличивается с квадратом расстояния от источника звука. (Вспомним, что поверхность шара увеличивается пропорционально квадрату его радиуса.) Вследствие этого амплитуда давления быстро падает даже вблизи излучателя. Указанное явление и происходит в громкоговорителе прямого излучения, у которого диффузор возбуждает звуковые колебания непосредственно в окружающем его воздухе (рис. 53, а).

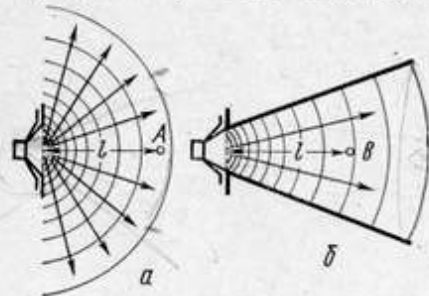


Рис. 53. Увеличение эффективности излучения при ограничении угла излучения:

а — открытое пространство; б — труба переменного сечения

Действительно, создаваемые колеблющимся диффузором сжатия и разрежения получают возможность сразу же распространяться в неограниченном пространстве, из-за чего большого избыточного давления даже вблизи излучателя получено быть не может, а в точке А оно будет меньше в l^2 раз.

Итак, причина малой эффективности излучения звука непосредственно в окружающую среду заключается в невозможности получить большую амплитуду давления вблизи излучателя (мала полезная его нагрузка — сопротивление излучения) и в быстром затухании излученной энергии.

Очевидно, что для повышения эффективности излучения необходимо, во-первых, увеличить сопротивление излучения и, во-вторых, уменьшить затухание колебаний. Указанные условия соблюдаются, если диафрагма излучателя работает на трубу возрастающего сечения, то есть на рупор (рис. 53, б). В данном случае диффузор возбуждает колебания воздуха в среде, ограниченной стенками рупора, то есть то же количество энергии, что и ранее (рис. 53, а), излучается уже в пространстве определенного объема. Следовательно, избыточное давление резко возрастает.

Сжатие и разрежение распространяются только в определенном направлении, то есть фронт звуковой волны из шарового стал почти плоским. Энергия звуковой волны теперь уменьшается пропорционально расстоянию от источника, и в точке В (рис. 53, б) избыточное давление будет значительно больше, чем в точке А (рис. 53, а).

Нами было выяснено, что уменьшение амплитуды давления происходит из-за возрастания поверхности волнового фронта, на который распределяется энергия, отданная источником звука. В рупоре же величина поверхности волнового фронта увеличивается соответственно закону расширения рупора, то есть его форме, а излучатель совершает работу, максимально возможную при данной амплитуде колебаний. Это означает, что с помощью рупора мы нагружаем излучатель достаточно большим и мало зависящим от частоты сопротивлением излучения.

Вообще говоря, форма рупора как устройства, ограничивающего пространство, в котором излучатель возбуждает колебания воздуха, может быть различной и опреде-

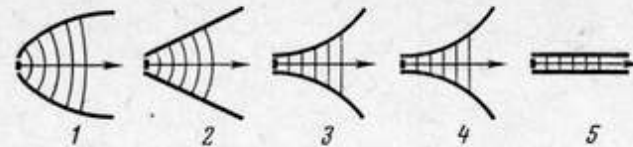


Рис. 54. Схемы рупоров различных типов: 1 — параболический; 2 — конический; 3 — экспоненциальный; 4 — катеноидальный; 5 — цилиндрический

ляется формой его стенок. Принято название рупора определять по наименованию тех геометрических линий, вращение которых вокруг горизонтальной оси создает объемное тело вращения — рупор.

На рис. 54 приведены схемы рупоров различных типов. Один из них еще задолго до появления громкоговорителей рупорного вида широко использовался в практике для усиления человеческого голоса. Речь идет о коническом рупоре, или, как его было принято называть, м е г а ф о н е. Да еще и сейчас в практике речного судовождения на простейших судах можно встретить это весьма полезное устройство, позволяющее переговариваться на таких расстояниях, на которых обычный человеческий голос практически не слышен.

При проектировании рупорных громкоговорителей делались попытки применить разные типы рупоров, но только один из них (экспоненциальный) по сумме получаемых результатов и наиболее полному удовлетворению технических требований оказался пригодным для широкого применения.

§ 2. Экспоненциальный рупор

Рассмотрим, каким должен быть закон убывания амплитуд в рупоре (закон изменения площади его сечений) для получения наибольшей эффективности излучения. Теоретические расчеты показывают, что оптимальная форма рупора должна удовлетворять следующим двум требованиям:

1) на расстояниях, близких к излучателю, то есть в начальном своем сечении (горле), рупор должен расширяться очень медленно;

2) конечное отверстие (устье) рупора должно быть достаточно большим во избежание потери энергии из-за отражения ее обратно в рупор.

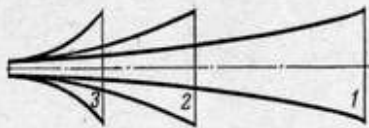


Рис. 55. Профили экспоненциальных рупоров:
 $1 - f_{кр} = 50$ гц; $2 - f_{кр} = 100$ гц;
 $3 - f_{кр} = 200$ гц

Остановимся несколько подробнее на втором условии. В конечном отверстии (устье) рупора звуковая волна переходит в окружающее рупор пространство. При этом происходит перепад давлений, так как из области

ограниченного пространства волна попадает в область, практически неограниченную.

Если устье рупора мало, то давление в звуковой волне еще достаточно большое. В момент выхода звуковой волны из устья давление резко падает (скачком); за счет такого скачкообразного изменения давления происходит отражение энергии обратно в рупор.

Так, если подходящая к рупору волна имеет сжатие, то при выходе из него сжатый воздух быстро вытекает в пространство с нормальным давлением. В плоскости устья рупора при этом создается разрежение, которое и распространяется внутрь его.

Для удовлетворения указанных ранее требований площадь поперечного сечения рупора при движении вдоль его оси от горла к устью вначале должна возрасти медленно. По мере приближения к устью площадь сечения должна возрасти все быстрее и быстрее. При этом в любом месте рупора при переходе от одного сечения к другому на одинаковый отрезок его осевой длины увеличение площади поперечного сечения должно происходить в одинаковое число раз.

Такой закон изменения сечений может быть получен у рупора, стенки которого изогнуты по кривой, называемой в математике экспонентой; поэтому рупор и называют экспоненциальным.

Продольное сечение (вдоль оси) нескольких экспоненциальных рупоров дано на рис. 55. Из данного примера видно, что при одинаковых размерах горла и устья рупор может иметь различную осевую длину. Из рисунка также следует, что осевая длина экспоненциального рупора зависит от быстроты нарастания сечения от горла к устью. Скорость изменения сечения (скорость раскрытия рупора) определяется для каждого рупора однозначно и выражается величиной, называемой показателем расширения. Показатель расширения целиком зависит от выбора одной основной величины, к рассмотрению которой мы и перейдем.

§ 3. Критическая частота

Представим себе идеальный случай, когда излучатель работает на рупор неограниченной длины (бесконечный). Для излучателя рупор является некоторой нагрузкой

комплексного характера, имеющей активную и реактивную компоненты. Иначе говоря, излучатель нагружен на входное сопротивление рупора, активную компоненту которого по аналогии с сопротивлением излучения обозначим r'_R . Характер изменения активной компоненты (составляющей) входного сопротивления бесконечного экспоненциального рупора приведен на рис. 56

(так как по осям графика отложены отношения величин, то строго на нем изображен безразмерный коэффициент активной компоненты). Для кривой характерны быстрый рост после некоторой вполне определенной точки (отметка $f/f_{кр} = 1$ на горизонтальной оси), участок перегиба и участок, параллельный горизонтальной оси.

В переводе на энергетический язык это означает: до некоторой определенной частоты активная компонента

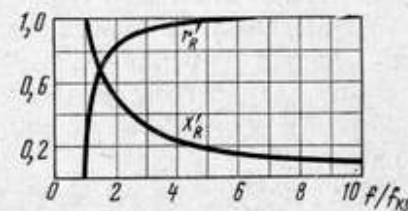


Рис. 56. Безразмерные коэффициенты активной и реактивной компонент входного сопротивления идеального рупора (бесконечной длины)

сопротивления излучения равна нулю, излучатель не передает энергию горлу рупора, а следовательно, сам рупор не излучает. Затем очень быстро возрастает количество энергии, отдаваемой излучателем для возбуждения волнового процесса в горле рупора, и соответственно растет излучаемая им акустическая мощность. Начиная с некоторого значения частоты, процесс стабилизируется, так как активная часть входного сопротивления рупора становится постоянной по величине. Излучаемая им акустическая мощность с этого момента постоянна и от частоты не зависит. Частота, после которой активная составляющая входного сопротивления рупора становится отличной от нуля, называется критической частотой рупора.

Вернемся к рис. 55, из которого видно, что чем ниже критическая частота рупора, тем больше его осевая длина при одинаковых значениях площадей входных и выходных отверстий (горла и устья). Из этих рассуждений следует и обратный вывод: чем ниже критическая частота рупора, тем больше его размеры.

Принято считать, что излучение рупора становится достаточно эффективным после частоты, превышающей на пол-октавы критическую частоту. Данное соображение необходимо учитывать при определении нижней граничной частоты номинальной полосы рупорного громкоговорителя.

Итак, мы установили, что для хорошего излучения низких частот сечение рупора должно увеличиваться медленно, размеры его становятся большими и критическая частота должна быть по крайней мере на пол-октавы ниже граничной.

Для излучения же высоких частот, наоборот, достаточно иметь рупор сравнительно небольших размеров. Поэтому для рупорного громкоговорителя, работающего на широкую полосу частот, размеры рупора будут диктоваться выбором низкой граничной частоты рабочего диапазона. Однако при малой величине $f_{кр}$ размеры рупора, в частности его осевая длина, достигают большой величины, что делает невозможным использование рупора в обычных эксплуатационных условиях. Это обстоятельство является одной из причин выбора довольно высокой нижней граничной частоты широкополосного рупорного громкоговорителя (150–200 гц), вызывающей в то же время снижение качества звуковоспроизведения.

Если рассмотреть такой же график (рис. 56) для рупора конечных размеров, то плавная кривая превращается

в последовательное чередование максимумов и минимумов, значение которых убывает с ростом частоты (рис. 57). Изменение формы кривой связано с наличием в реальном рупоре двух волн:

1) прямой волны, распространяющейся от узкого конца рупора к широкому;

2) обратной волны, возникающей за счет отражения прямой волны от устья рупора.

С изменением частоты меняются и фазовые соотношения между прямой и обратной волнами, что и проявляется в чередовании максимумов и минимумов на кривой.

В реальных условиях работы рупора конечной длины проявляются следующие особенности:

1) активная компонента его входного сопротивления отлична от нуля даже на частотах ниже критической. Однако величина ее очень мала, ничтожна и излучаемая рупором акустическая мощность. Рекомендованное ранее соотношение $f_n : f_{кр} = 1,5$ остается в силе;

2) по мере роста частоты уменьшаются отражения от выходного отверстия рупора, что означает уменьшение различия между волновым сопротивлением рупора и сопротивлением излучения со стороны внешней среды — воздуха;

3) частотные интервалы между соседними максимумами и минимумами возрастают с уменьшением длины рупора.

Учитывая поправки, вносимые реальными условиями работы рупора, необходимо для уменьшения частотных искажений в характеристике громкоговорителя увеличивать площадь выходного отверстия рупора и выбирать малую величину показателя расширения. Это еще больше увеличивает габаритные размеры рупора даже при

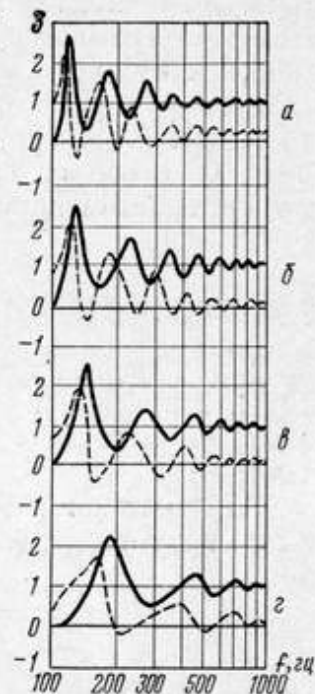


Рис. 57. Безразмерные коэффициенты активной (—) и реактивной (----) компонент входного сопротивления реального рупора с $f_{кр} = 100$ гц и диаметром выходного отверстия 50 см при различной длине l и диаметре входного отверстия:

а — $d = 2,5$ см, $l = 150$ см;
б — $d = 5$ см, $l = 120$ см;
в — $d = 10$ см, $l = 85$ см;
г — $d = 20$ см, $l = 50$ см

условии ограничения низкочастотной части номинального диапазона.

Рассмотренный выше характерный вид частотной характеристики активной компоненты входного сопротивления вызывает появление пиков и провалов на частотной характеристике громкоговорителя, так как излучаемая им акустическая мощность меняет свою величину. У экспоненциального рупора этот эффект проявляется меньше, чем у ряда других рупоров (см. рис. 54). Данное обстоятельство явилось одной из причин, по которой экспоненциальный рупор нашел широкое практическое применение.

§ 4. Акустическая трансформация

Для выяснения методов получения высокой эффективности излучения в широком диапазоне частот рассмотрим условия частотно независимой отдачи рупорного громкоговорителя.

Акустическая мощность, излучаемая колеблющимся телом, определяется формулой:

$$P_a = \frac{1}{2} v_m^2 \cdot r_R,$$

где v_m — амплитуда скорости жесткого излучателя; r_R — сопротивление излучения.

При экспоненциальном рупоре с достаточно низкой критической частотой сопротивление излучения практически не зависит от частоты. В этом случае постоянство излучаемой акустической мощности по частоте будет соблюдено, если амплитуда скорости также частотно независима. Последнее условие означает, что упругое и в особенности инерциальное сопротивление излучателя должно быть мало в сравнении с сопротивлением излучения*, то есть декремент затухания $d = \frac{r}{2\pi/m}$ должен быть велик.

Мы видим, что при работе излучателя на рупор создаются весьма благоприятные условия в сравнении с громкоговорителем прямого излучения. В данном случае одни

* Для простоты изложения здесь и далее допустим терминологическую вольность, называя активной составляющую входного сопротивления рупора сопротивлением излучения. Не очень строго, но качественно правильно пользоваться таким упрощением, так как излучатель отдает полезную мощность только на активной нагрузке.

и те же условия обеспечивают частотную независимость отдаваемой акустической мощности и высокую эффективность излучателя. У громкоговорителя прямого излучения они противоположны друг другу.

Оговоримся лишь, что все это имеет место только в том случае, если активное сопротивление, определяющее постоянство амплитуды колебательной скорости, является сопротивлением излучения рупора.

Таким образом, мы установили, что у рупорного громкоговорителя должно быть обеспечено в рабочем диапазоне частот преобладание сопротивления излучения r_R над инерциальным сопротивлением диафрагмы:

$$2\pi f m,$$

где m — масса диафрагмы, колеблющейся в его горле. Однако известно, что для этого же диапазона частот сопротивление излучения рупора постоянно и равно $40 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2/\text{сек}}$ для площади горла в 1 см^2 .

Для рупора с площадью горла S_0 сопротивление излучения, следовательно, будет:

$$r_{R1} = 40 \cdot S_0 \frac{\text{дин}}{\text{см}^4/\text{сек}}.$$

Следовательно, величина r_{R1} может быть увеличена только с увеличением S_0 . Соответственно должна расти и площадь диафрагмы, то есть ее масса. Иными словами, это значит, что соотношение между сопротивлением излучения рупора и инерциальным сопротивлением диафрагмы постоянно и не зависит от площади горла рупора.

Выход из создавшегося положения был найден путем использования особого акустического эффекта, называемого акустической трансформацией.

Для его реализации в конструкцию рупорного громкоговорителя был введен дополнительный элемент. Он создает замкнутое пространство (полость) между диафрагмой и горлом рупора (рис. 58), называемое предрупорной камерой.

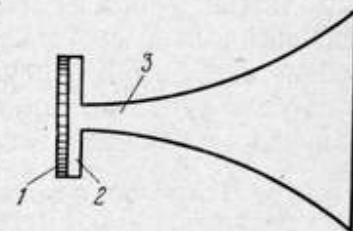


Рис. 58. Схема рупорного громкоговорителя:
1 — диафрагма; 2 — предрупорная камера; 3 — рупор.

Чтобы понять, как работает предрупорная камера, рассмотрим работу двух сообщающихся сосудов с плотно входящими в них поршнями (рис. 59). По такой схеме строятся гидравлические прессы, гидравлические автомобильные домкраты и многое другое оборудование.

Предположим, что размеры сосудов выбраны так, что площадь одного поршня в пять раз больше другого. Если нажать на большой поршень (рис. 59), то жидкость из большого сосуда будет вытесняться и переходить в малый. Совершенно ясно, что когда большой поршень опустится на 1 см, малый поршень должен будет подняться не на 1, а на 5 см.

Так, чтобы под малым поршнем уместилась вся жидкость, вытесненная из большого сосуда, ход его должен быть в пять раз больше, чем ход большого поршня. Движение обоих поршней начнется и закончится одновременно, следовательно, скорость движения малого поршня в пять раз больше скорости движения большого поршня. В то же время сила воздействия малого поршня будет составлять одну пятую силы, приложенной к большому поршню. Как видно из приведенного примера, происходит трансформация сил и скорости.

Если теперь вернуться к схеме рупорного громкоговорителя (рис. 58) и сравнить ее с разобранный выше схемой сообщающихся сосудов, то станет очевидным их полное соответствие друг другу.

Будем считать воздух несжимаемой средой и обозначим отношение площадей поршня S_1 и горла рупора S_0 через $n = \frac{S_1}{S_0}$. Тогда по аналогии с предыдущим сила, противодействующая движению диафрагмы в предрупорной камере, будет в n раз больше силы, с которой сжимаемый в камере воздух действует на входное отверстие; колебательная скорость диафрагмы будет в n раз меньше скорости воздуха в горле рупора. Поэтому нагружающее диафрагму сопротивление будет в n^2 раз больше сопротивления излучения рупора, то есть

$$r_{Rд} = n^2 r_{R1} = n^2 \cdot 40 \cdot S_0 \frac{\text{дин}}{\text{см}^2/\text{сек}}.$$

Величину n принято называть коэффициентом акустической трансформации.

Применение акустической трансформации, осуществляемой в предрупорной камере, позволяет резко увеличить сопротивление излучения громкоговорителя и таким образом повысить его эффективность.

Высокий в сравнении с громкоговорителем прямого излучения к.п.д. является вторым преимуществом громкоговорителя.

§ 5. Направленность излучения

В начале главы мы вспоминали простейший вид рупора-мегафона, применявшийся задолго до появления электроакустической аппаратуры для усиления человеческого голоса. Практически человеческий ум с успехом использовал функцию рупора как концентратора энергии и его способность излучать в определенном угле.

Действительно, даже при относительно больших размерах выходного отверстия направленность излучения рупора заметно проявляется даже в сравнении с направленностью излучателя, соответствующего его входному отверстию. С возрастанием частоты направленность излучения рупора обостряется.

Расчеты показывают, что правильным выбором размера оконечного отверстия возможно сохранить неизменными диаграммы направленности в некотором диапазоне частот или иметь изменение ее небольшим. Для обеспечения требования малой частотной зависимости направленности экспоненциального рупора круглого сечения диаметр оконечного отверстия d и длина волны при критической частоте $\lambda_{кр}$ должны находиться между собой в определенном соотношении, а именно:

$$a = \frac{\lambda_{кр}}{d} = 3 \div 3,5.$$

Характеристика направленности рупора, имеющего круглую или квадратную форму выходного отверстия, одинакова для вертикальной и горизонтальной плоскостей и с хорошим для практического расчета приближением может быть представлена эллипсом (на частотах, больших трехкратного значения критической частоты).

Выходное отверстие рупора может быть и прямоугольной формы, в этом случае характеристики направленности разные в плоскостях, параллельных его короткой и длинной стороне. Более широкие характеристики у такого рупора будут в плоскости, параллельной узкой стороне. Меняя соотношение длин сторон прямоугольника, можно управлять и направленностью — расширять ее в одной плоскости и одновременно сужать в другой.

Схемы характеристик направленности для круглого и прямоугольного рупоров приведены на рис. 60.

На достаточно высоких частотах характеристики направленности рупоров все же заметно суживаются. Существуют способы борьбы с этим недостатком, но с ними мы познакомимся в следующей главе.

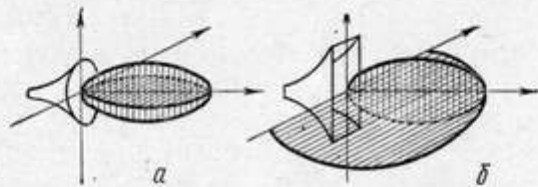


Рис. 60. Схемы диаграмм направленности рупоров круглого (а) и прямоугольного (б) сечения.

Таким образом, существенно лучшие в сравнении с громкоговорящими прямого излучения характеристики направленности и возможность управления их формой являются третьим преимуществом рупорного громкоговорящего.

§ 6. Конструкция рупорного громкоговорящего нормального типа

Типичной конструкцией широкополосного рупорного громкоговорящего может служить громкоговорящий 10ГРД-5 (рис. 61). Как и любой громкоговорящий, он состоит из головки и акустического оформления — рупора. Рассмотрим особенности конструкции, отличающие рупорный громкоговорящий от громкоговорящих прямого излучения.

В предыдущих параграфах мы уже говорили, что большая осевая длина самого рупора, как акустического оформления, является одним из его недостатков.

Выход из положения был найден разработкой конструкции свернутых рупоров. Схема такого рупора приведена на рис. 62. Принцип такой конструкции заключается в том, что вся осевая длина экспоненциального рупора разбивается на секции (две, иногда три). Каждая секция выполнена в виде конструктивного элемента, вкладываемого в следующую секцию большего сечения и т. д. Осевая длина рупора в готовом виде существенно сокращается, правда, звуковой волне приходится совершать при движении от горла к устью рупора несколько поворотов. Конструкция свернутого рупора получила преобладающее распространение в качестве акустического оформления рупорных громкоговорящих нормального типа. Секции рупоров обычно изготавливаются из листовой стали методом глубокой вытяжки.

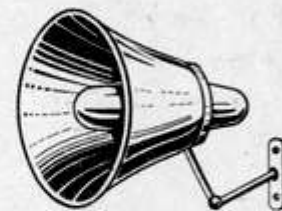


Рис. 61. Внешний вид рупорного громкоговорящего 10ГРД-5

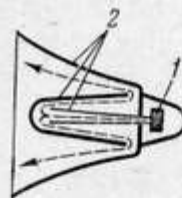


Рис. 62. Схема свернутого рупора:
1 — головка;
2 — секции рупора

Хорошо решая практически важную проблему сокращения осевого габарита громкоговорящего, свернутый рупор ухудшает его качественные показатели за счет интерференционных явлений в местах поворота, потерь мощности неконтролируемых изменений характеристики и направленности. Поэтому свернутый рупор является примером часто встречаемого в практике случая, когда конструкция является вынужденным компромиссом между требованиями эксплуатации и качественными требованиями.

В рупорном громкоговорящем, так же как и в громкоговорящем прямого излучения, применяется головка электродинамического типа, поэтому магнитная цепь ее по основным деталям аналогична описанной ранее (см. главу 2).

Головка громкоговорящего 10ГРД-5, конструкция которой приведена на рис. 63, имеет магнитную цепь, состоящую из верхнего фланца 1, нижнего фланца 2, керна 3 и магнита 4. Отверстие в верхнем фланце и конец керна, входящего в него, имеют разные диаметры, образуя кольце-

вую щель, предназначенную для помещения в нее звуковой катушки 5.

Как и во всяком электродинамическом громкоговори- теле, движение звуковой катушки является результатом воздействия на нее электродинамической силы, образован- ной взаимодействием протекающего по звуковой катушке тока и магнитных силовых линий.

Основное различие в головках громкоговорителей пря- мого излучения и рупорных заключается в излучателе.

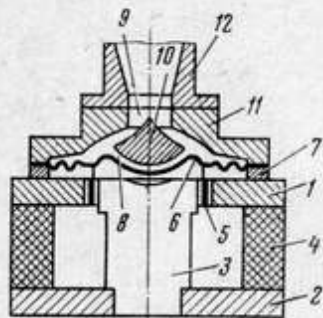


Рис. 63. Схема конструк- ции головки 10ГРД-5:

1 — верхний фланец; 2 — ниж- ний фланец; 3 — керн; 4 — магнит; 5 — звуковая катуш- ка; 6 — диафрагма; 7 — кре- пящие кольца; 8 — предру- порная камера; 9 — горло ру- пора; 10 — вкладыш; 11 — крышка; 12 — рупор

Так, вместо относительно боль- шого размера диффузора коничес- кой формы рупорная головка имеет небольшого размера диа- фрагму 6, представляющую сочета- ние сферического купола с плос- ким кольцом-воротником, на кото- рый нанесен гофр той или иной формы.

Сферическая форма купола при- дает диафрагме необходимую жест- кость, а гофрированный воротник является подвесом диафрагмы. Он должен обеспечить центральное положение звуковой катушки в воз- душном зазоре магнитной системы и сообщить подвижной системе, то есть диафрагме с приклеенной звуковой катушкой, необходимую

упругость при ее осевом смещении. Зажимается воротник между специальными кольцами 7 по наружному краю. Та- ким образом, в рупорной головке воротник диафрагмы одно- временно выполняет роль внешнего края диффузора и цен- трирующей шайбы в подвижной системе головки прямого излучения.

Предрупорная камера 8 представляет собой сферическую полость между внутренней поверхностью купола диафрагмы и куполообразным вкладышем 10, помещенным в крышке 11. Эта деталь, с одной стороны, закрывает диафрагму и обра- зует входную часть рупора, а с другой,— является эле- ментом крепления самого рупора 12 к головке.

§ 7. Качественные показатели рупорного громкоговорителя нормального типа

Ряд существенных преимуществ рупорного громкогово- рителя в сравнении с громкоговорителями прямого излу- чения, на первый взгляд, должен быть причиной пре- обладающего применения рупорных громкоговорителей во всех областях звукотехники.

Однако в практических условиях громкоговорители этого типа заняли ведущее положение только в одной уз- кой области применения — в системах озвучивания улиц и площадей, а также в системах оповещения на террито- риях с большим уровнем шума.

Оказалось, что в этих условиях большой к.п.д. и хоро- шие характеристики направленности рупорных громко- говорителей являются преобладающими факторами в срав- нении с его коренным недостатком — невысоким качеством звукопередачи.

Ниже мы рассмотрим причины, по которым широкопо- лосный рупорный громкоговоритель принципиально не может обеспечить высококачественную звукопередачу.

Частотная характеристика

На рис. 64 приведена частотная характеристика рупор- ного громкоговорителя, которая может рассматриваться как типовая. Ее характерной особенностью является разная

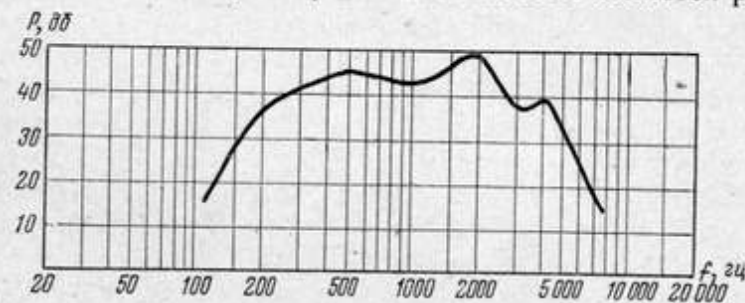


Рис. 64. Частотная характеристика громкоговорителя 10ГРД-5 (типовая)

величина неравномерности в разных частях прямолиней- ного участка, ограничение номинального диапазона в об- ласти низких и высоких частот, резкое уменьшение чув- ствительности за пределами пограничных частот.

Рассмотрим причины, в результате которых частотная характеристика рупорного громкоговорителя имеет указанный выше характер.

В области низких частот причиной увеличения неравномерности является отражение звуковой волны от устья рупора. Резкий спад наступает на частотах, близких к критической частоте рупора. Уменьшение критической частоты, желательное с точки зрения улучшения воспроизведения низких частот рупорным громкоговорителем, ограничивается условиями сохранения в готовой конструкции приемлемых для практического использования размеров громкоговорителя. Это же ограничение заставляет конструктора мириться с необходимостью сокращать и размеры выходного отверстия рупора.

Увеличение частотных искажений в области высоких частот объясняется одновременным действием трех причин.

Первая из них заключается в увеличении инерциального сопротивления подвижной системы на высоких частотах. Несмотря на сравнительно малый вес подвижной системы рупорного громкоговорителя (до 5—6 г), величина инерциального сопротивления ($2\pi fm$) становится на высоких частотах сравнимой с сопротивлением излучения и может даже превышать его. Следствием этого является уменьшение колебательной скорости диафрагмы, то есть уменьшение отдаваемой акустической мощности, которое начинает наблюдаться после 3000—5000 гц.

Второй причиной резкого спада характеристики на высоких частотах является сжимаемость воздуха в предрупорной камере, которой мы пренебрегали, рассматривая акустическую трансформацию. Однако если это было справедливо для области низких и средних частот, то для высоких частот необходимо уже учитывать поведение в камере воздуха.

Рассмотрим работу диафрагмы головки громкоговорителя на рупор (рис. 65), заменяя, как мы уже делали выше, акустические элементы механическими.

Аналогично предыдущему случаю массу подвижной системы изобразим некоторой механической массой M (квадратик); упругость подвеса — пружиной I , один конец которой связан с колеблющейся массой, а другой закреплен неподвижно.

Упругость воздуха в предрупорной камере согласно принятым изображениям будет также обозначена пружиной II , одним концом связанной с массой M . Второй

конец этой пружины связан с нижним концом рычага A , закрепленного в точке O .

Рычагом принято условно изображать акустическую трансформацию в головке рупорного громкоговорителя; отношение плеч рычага должно быть равно коэффициенту акустической трансформации.

Верхний конец рычага скреплен со штоком поршня B , условно изображающего сопротивление излучения рупора, так как поршень, движущийся в цилиндре, служит для обозначения трения, то есть активного сопротивления. Таким сопротивлением и является сопротивление излучения.

Сила, прилагаемая к механической массе и заставляющая всю схему работать, изображена стрелкой. Она соответствует электродинамической силе, приложенной к звуковой катушке.

Под действием силы F масса M приходит в движение, которое передается через пружину II рычагу B , а посредством последнего — поршню.

Точно так же в головке громкоговорителя движение диафрагмы сообщается воздуху, находящемуся в горле рупора, через воздух, находящийся в предрупорной камере, с соответствующим увеличением скорости за счет акустической трансформации.

Пока частота колебаний массы M ниже резонансной частоты пружины II (с массой M), пружина II будет передавать смещения массы M рычагу, сама почти не деформируясь. Однако, начиная с частоты этого резонанса, упругое сопротивление пружины становится малым, и пружина II начинает сильно деформироваться. Следовательно, движение массы M почти не передается рычагу.

В головке это будет соответствовать моменту, когда движение диафрагмы вследствие сжимаемости воздуха в камере создает в горле рупора все меньший и меньший поток воздуха. Вот почему особое внимание уделяется получению малых объемов воздуха в предрупорной камере, чаще всего за счет небольшой ее высоты.

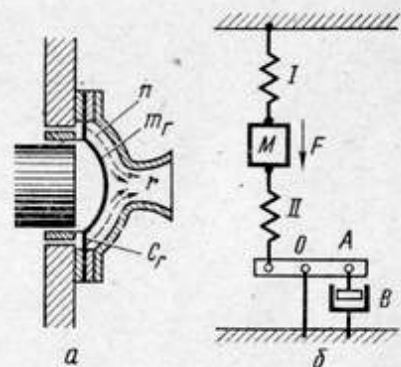


Рис. 65. Схема работы диафрагмы на рупор: а — акустическая; б — механическая

Приведенная нами схема ясно показывает роль упругости подвеса подвижной системы. Совершенно очевидно, что чем менее упруга пружина I , тем меньше ее упругое сопротивление; следовательно, меньше затрачиваемая энергия на преодоление этого сопротивления при движении массы M и тем больше полезная работа, совершаемая прилагаемой силой.

Из рис. 65 можно уяснить и сущность третьей причины, вызывающей увеличение частотных искажений. Сравним между собой пути, которые проходит звуковая волна от крайних (по отношению к горлу рупора) и центральных

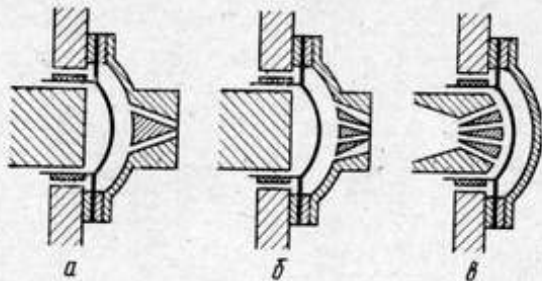


Рис. 66. Типы противоинтерференционных вкладышей:

a — конический в горле рупора; *b* — двухконусный в рупоре; *v* — двухконусный в керне

точек диафрагмы. Как видно из рисунка, они заметно различаются. Пока длина волны возбужденного звукового колебания велика в сравнении с проходимым ею путем в предрупорной камере, имеющаяся в ней разность ходов не сказывается на фазе колебаний, складывающихся в горле рупора. Однако на высоких частотах длина волны становится сравнима или меньше указанного пути, поэтому в горле рупора колебания, приходящие от различных частей диафрагмы, имеют разную фазу. Известно, что при сложении таких колебаний происходит **интерференция**, в результате которой суммарное колебание сильно ослабляется или даже может стать равным нулю.

Для борьбы с интерференцией в горле рупора применяются специальные вкладыши, задача которых — разбить входное отверстие рупора на ряд каналов равной длины, в какой-то степени равномерно распределенных по предрупорной камере. Так, в громкоговорителе 10ГРД-5 (см. рис. 63) вкладыш образует кольцевую щель; другие типы вкладышей даны на рис. 66. Они также образуют сис-

тему кольцевых щелей, распределенных по поверхности камеры. Использование керна предпочтительнее, так как в этом случае осевые длины щелей разных радиусов могут быть одинаковыми.

На рис. 67 приведены частотные характеристики рупорного громкоговорителя, показывающие зависимость воспроизведения высоких частот от объема воздуха в камере и упругости подвеса.

Нелинейные искажения

Как и во всякой головке электродинамического типа, в рупорной головке неравномерность магнитного поля и нелинейность подвеса являются источниками нелинейных искажений. Их величина и характер примерно те же, что и в головке прямого излучения.



Рис. 67. Влияние высоты Δ_k предрупорной камеры (*a*) и гибкости подвеса (*b*) на частотную характеристику рупорной головки:

$1 - \Delta_k = 0,75 \text{ м}; 2 - \Delta_k = 2 \text{ мм}$

Однако в рупорном громкоговорителе существуют еще два источника искажений. Первым из них является предрупорная камера, вызывающая появление особого вида нелинейных искажений — **взаимомодуляционных**.

Сущность их заключается в том, что при одновременной подаче двух сигналов (низкочастотного и высокочастотного) гибкость объема воздуха в предрупорной камере начинает меняться в такт с низкой частотой. Периодическое изменение гибкости вызывает амплитудную модуляцию высокочастотного сигнала на входе рупора, то есть к появлению комбинационных частот $f_b \pm n f_n$, дополняющих основные. Величина этих искажений зависит от значения нижней граничной частоты номинального диапазона, величины

подведенной электрической мощности и высоты предрупорной камеры.

Другим источником нелинейных искажений может служить сам рупор. При распространении в нем мощной звуковой волны сжатия перемещаются в воздухе быстрее разрежений, причем скорость перемещения тем выше, чем больше степень сжатия. Поэтому синусоидальная волна, у которой точка максимума находится между двумя точками минимума, превращается в несинусоидальную. В ней точка максимума смещена к впереди лежащему минимуму, потеря синусоидальности означает появление гармоник.

Для борьбы с такого вида искажениями необходимо ограничивать отдаваемую головкой акустическую мощность и увеличивать площадь горла рупора, с тем чтобы нагрузка его входного отверстия не превышала норму — 1 вт/см^2 .

Для получения приемлемых значений величины нелинейных искажений неизбежно ограничение номинального диапазона частот снизу, увеличение высоты предрупорной камеры и снижение коэффициента акустической трансформации.

Если вернуться к ранее рассмотренным особенностям рупорного громкоговорителя и его головки, то нетрудно убедиться в неизбежности снижения и верхней граничной частоты после выполнения двух последних мероприятий.

Ограничение мощности лишает рупорный громкоговоритель главного преимущества — возможности покрыть достаточно большую площадь одним громкоговорителем или обеспечить заметное превышение уровня полезного сигнала над уровнем шумов. В практике нашло применение единственное решение этой задачи — распределение подводимой мощности между двумя головками, одновременно работающими на общий рупор (например, рупорный громкоговоритель Р-100).

Остальные качественные показатели рупорного громкоговорителя существенно выше, чем у громкоговорителей прямого излучения. Однако мы не будем их подробно рассматривать, так как широкополосные рупорные громкоговорители в кинотеатральной практике не применяются. Как мы узнаем в следующей главе, только после построения специальных систем громкоговорителей удалось использовать все положительные качества головок рупорных громкоговорителей и избавиться от их недостатков совсем или по крайней мере уменьшить их до вполне приемлемого уровня.

§ 8. Громкоговорители с направляющим рупором

Недостатки рупорных громкоговорителей нормального типа (узкая полоса частот, высокие нелинейные искажения) вызвали попытки изменить их конструкцию таким образом, чтобы, с одной стороны, уменьшить их недостатки, а с другой, — использовать ряд преимуществ в сравнении с громкоговорителями прямого излучения. Такие конструкции получили название громкоговорителей с направляющими рупорами и одно время довольно широко применялись в кинотеатральной аппаратуре.

В отличие от рупорного громкоговорителя нормального типа громкоговорители с направляющим рупором имеют головку прямого излучения с несколько меньшими против обычного размерами диффузора (внешний диаметр до 150 мм). Головка нагружена на рупор посредством предрупорной камеры с малым коэффициентом акустической трансформации (обычно 1,5—2). Площадь горла такого рупора большая, так как уменьшение ее в сравнении с площадью диффузора определяется коэффициентом трансформации. Такие рупоры часто называют широкогорлыми.

Направляющие рупоры бывают трех типов: прямые, лабиринтные и свернутые.

Прямой рупор (рис. 68) — обычный экспоненциальный рупор 1 с прямой осью и большой площадью выходного отверстия. Головка 2 громкоговорителя с прямым рупором помещается обычно в закрытом ящике 3 небольших размеров. Для уменьшения вредных резонансных колебаний воздуха в ящике стенки его покрываются поглощающим материалом 4. Конструкция громкоговорителя такого типа,

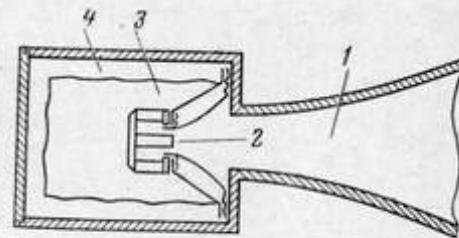


Рис. 68. Схема громкоговорителя с направляющим рупором:

1 — рупор; 2 — головка прямого излучения; 3 — закрытый ящик; 4 — поглощающий материал



Рис. 69. Громкоговоритель 25А-13

показанная на рис. 69, применялась в контрольном громкоговорителе 25А-13 звуковоспроизводящих комплектов КУСУ-46, 48, 50, 52.

Лабиринтный рупор конструктивно хорошо решает проблему сокращения осевой длины экспоненциального рупора. Для этого экспоненциальный рупор разбивается на ряд звеньев, заменяемых секциями прямолинейного сечения. Линейные размеры секций подбираются такими, чтобы сечения их были близки соответствующим звеньям экспоненциального рупора. Сами же секции образуются системой ходов между перегородками, помещенными внутри общего ящика. В кинотеатральных громкоговорителях

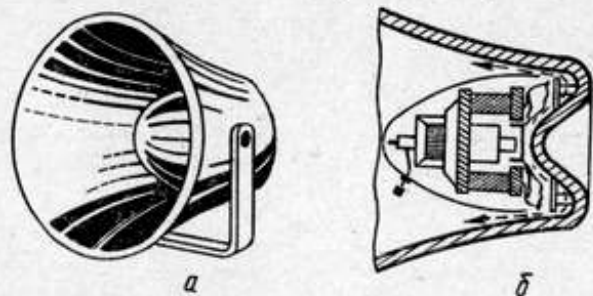


Рис. 70. Громкоговоритель Р-10:
а — общий вид; б — схема

делалась попытка применить рупоры такой конструкции. Однако сложность исполнения и низкие качественные показатели послужили причинами быстрого отказа от их практического использования.

Свернутый направляющий рупор повторяет принцип, описанный нами ранее (см. рис. 62), но более прост конструктивно и в изготовлении. Типичным примером громкоговорителя с рупором такой конструкции служит громкоговоритель Р-10, широко применяемый в системах звукофикации (рис. 70). Попытки применить направляющие рупора свернутого типа в кинотеатральной практике были, но также широкого использования не нашли по тем же причинам, что и лабиринтные направляющие рупоры.

* * *

Широкополосные рупорные громкоговорители, как мы уже указывали, не нашли применения в кинотеатральной практике, за исключением контрольного 25А-3. В то же время в своей практической работе эксплуатационники

встречаются с необходимостью использовать рупорные громкоговорители, выпускаемые радиопромышленностью для установок звукофикации.

В качестве примера можно сослаться на практику клубной работы, в первую очередь, на селе, когда киноустановка и радиоузел обслуживаются одним человеком. Поэтому в целях информации в табл. 3 приведены сведения о громкоговорителях этого типа.

Таблица 3
Основные данные* широкополосных рупорных громкоговорителей

Тип громкоговорителя	Тип металлического экспоненциального рупора	Номинальная мощность, втп	Тип головок количество	Номинальный диапазон частот, гц	Неравномерность, дб	Номинальное** сопротивление на клеммах громкоговорителя, ом			Габариты громкоговорителя, см			Вес, кг
						для сети с 4 раб. равным			ширина	глубина	высота	
						30 в	120 в	240 в				
10ГРД-5	Свернутый	10	— 1	200 ÷ 4000	90	1440	5760	∅40 × × 48,5			7	
25ГРД-1	Направляющий	25	25ГД-1	100 ÷ 6000	36	576	2300	70	18	73	15	
25ГРД-2			1	120 ÷ 5000								
50ГРД-8			50ГД-1 1	120 ÷ 5500								15
50ГРД-9	25ГД-1 2	100 ÷ 6000	100	—	—	—	—	36	72	122	25	
100ГРД-1	50ГД-1 2	120 ÷ 5500										9
Р-100	Свернутый	—	2	200 ÷ 3000	20	—	144	576	∅61 × × 100		40	
25А-13	Направляющий	3	4А-18А 1	150 ÷ 6000	10	—	15***	—	—	∅36 × 36	4	

* По описаниям и каталогам.

** На частоте 1000 гц; согласующий трансформатор внутри громкоговорителя.

*** Минимальное значение модуля полного сопротивления (после f_0).

ДВУХПОЛОСНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

§ 1. Требования к качеству звуковоспроизведения

С развитием техники звукового кино непрерывно повышались требования к качеству звукопередачи во всех звеньях тракта звуковоспроизведения. Применительно к громкоговорителям это означало необходимость:

- 1) увеличить воспроизводимую мощность;
- 2) расширить воспроизводимую полосу частот;
- 3) уменьшить частотные и нелинейные искажения;
- 4) увеличить отдачу.

Первые три требования определяют достигнутый в данной аппаратуре уровень качества, конечным пределом которого является естественное звучание, а четвертое — экономичность аппаратуры.

За последнее пятилетие все большее распространение получают идеи объединения в одном комплексе аппаратуры функций звуковоспроизведения фонограмм и звукоусиления естественных источников звучания. Эти идеи вызваны жизненной потребностью, приведшей к созданию и все расширяющемуся строительству крупных общественных сооружений — дворцов спорта, киноконцертных залов и

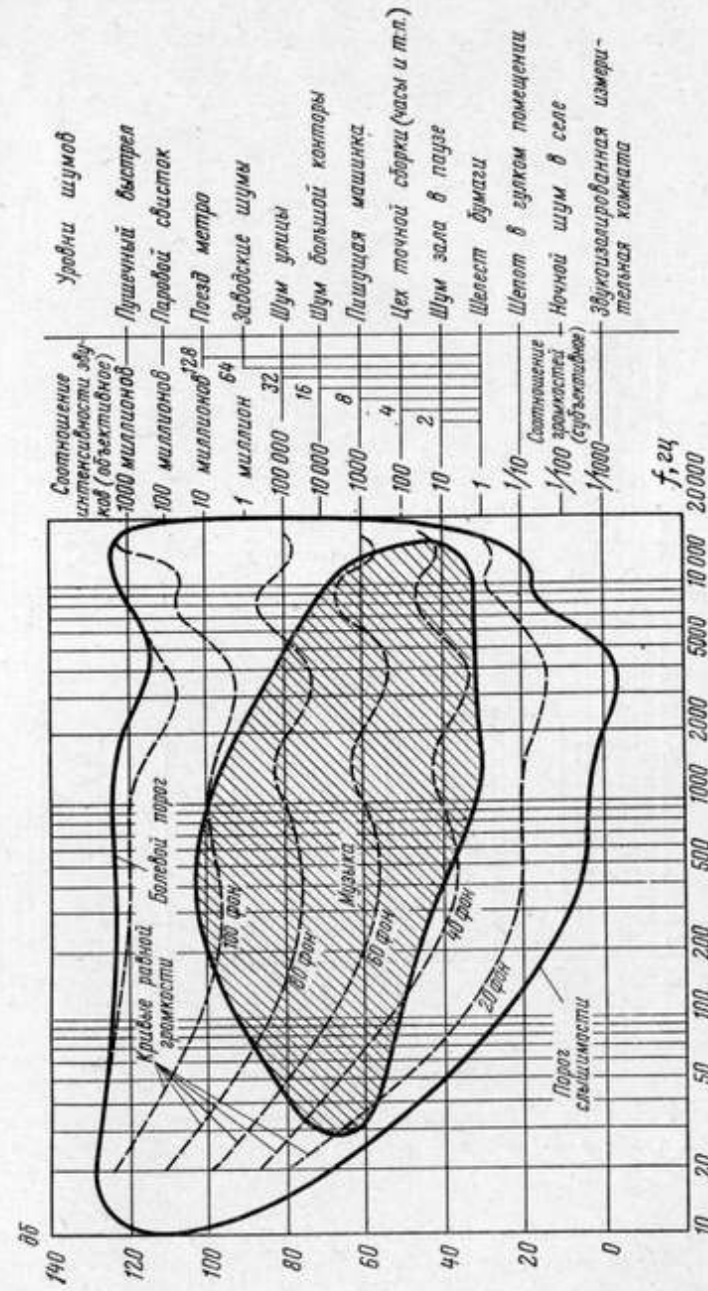


Рис. 71. Уровни и частотные диапазоны естественных звуков ($0 \text{ дБ} = 0,00002 \text{ н/м}^2$)

залов многоцелевого назначения вместимостью от 1500 до 6000 человек. Для того чтобы понять всю сложность проблемы достижения уровня качества, близкого к натуральному, на рис. 71 приведена общая картина уровней

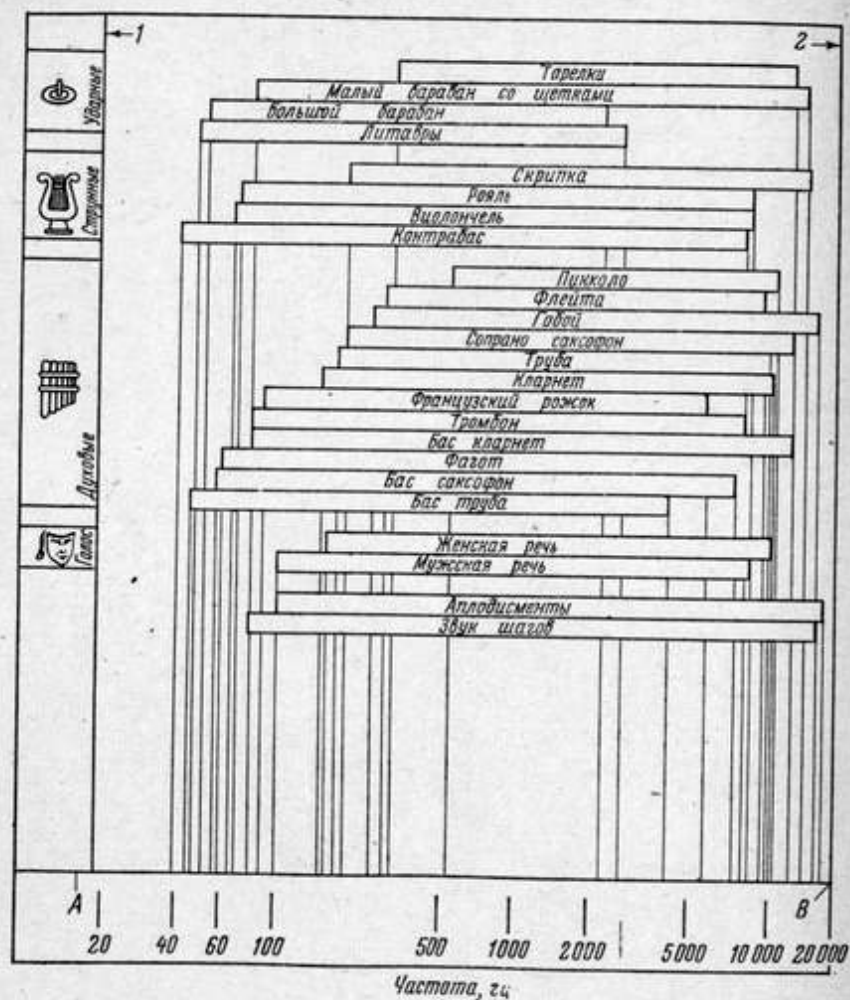


Рис. 72. Частотные диапазоны естественных источников звука:
 А — нижняя граница органа; В — верхняя граница органа; 1 — нижняя граница слышимых частот; 2 — верхняя граница слышимых частот

и частотных диапазонов, охватывающая мир окружающих нас звуков. Заштрихованная область внутри предельных значений показывает диапазон уровней и частотную полосу музыки.

Конечно, при воспроизведении вряд ли необходимо воспроизводить пушечный выстрел на уровне болевого вос-

приятия, но естественно, что он должен прозвучать существенно громче, чем пишущая машинка. В правильном распределении уровней звучаний различного характера и состоит искусство звукооператора кинофильма или звукорежиссера, ведущего звукоусиление концерта. Но и при этих ограничениях аппаратура должна обеспечить неискаженное воспроизведение пиковых уровней порядка 100 дБ.

На рис. 72 приведены частотные диапазоны отдельных инструментов и голосов, которые занимают полосу примерно от 35 до 18000 гц (характерно, что большой орган имеет нижнюю частоту около 16 гц, а верхнюю — почти 20 000 гц, выходя практически за предельные возможности человеческого слуха).

Приведенные примеры являются, конечно, предельными случаями. Практически полоса частот аппаратуры 30—15 000 гц уже создает для слушателя впечатление отличного звучания, если при этом запасы мощности в тракте достаточные и искажений в нем не возникает. Но, возвращаясь к упомянутым рисункам, мы еще раз обращаем внимание читателя на главное обстоятельство — сочетание широкого частотного диапазона и больших уровней, то есть необходимости иметь возможность излучать большую акустическую мощность.

В процессе совершенствования громкоговорителей проектировщики встречали все больше и больше трудностей, пытаясь в однополосном громкоговорителе сочетать расширение частотной характеристики с увеличением отдаваемой им мощности. Противоречия между условиями хорошего воспроизведения низких и высоких частот становились все более непримиримыми по мере увеличения мощности громкоговорителя, пока не привели к тупику, выход из которого был найден только после перехода к новым принципам построения громкоговорителя.

§ 2. Условия воспроизведения громкоговорителем низких и высоких частот

В предыдущих главах мы ознакомились с особенностями двух типов электродинамических громкоговорителей: прямого излучения и рупорных.

• Каким же условиям должен удовлетворять громкоговоритель каждого типа для хорошего воспроизведения низких и высоких частот?

Исследование распределения мощностей по частотному диапазону естественных источников звука показало, что основная пиковая мощность приходится на нижнюю часть частотного диапазона.

При звукозаписи, несмотря на ограничение динамического (соотношение тихих и громких мест звукопередачи) и частотного диапазонов, распределение мощностей несколько изменяется, но все же основная пиковая мощность сосредоточивается по-прежнему на низких и средних частотах.

Громкоговорители прямого излучения

Для излучения сколько-нибудь значительной мощности на низких частотах необходимо иметь большие размеры излучателя, так как увеличение его поверхности увеличивает сопротивление излучения. Одновременно снижаются амплитуды колебаний подвижной системы, а следовательно, уменьшается величина нелинейных искажений. Большой по размерам диффузор (диаметром 350—400 мм) должен быть весьма прочным, чтобы при подводимых больших мощностях обеспечить поршневое действие. Следовательно, наряду с увеличением размеров увеличивается и толщина диффузора, вследствие этого увеличивается вес диффузора, то есть его масса. Увеличение массы допустимо, так как в области низких частот, где сопротивление излучения растет с квадратом частоты, к.п.д. громкоговорителя определяется независимо от частоты отношением поверхности излучателя к его массе $\left(\frac{S}{m}\right)$.

Основная подводимая мощность сосредоточена как раз в нижней части частотного диапазона, звуковая катушка должна обеспечивать хорошее рассеивание выделяемой в ней тепловой мощности, то есть она должна иметь большую поверхность охлаждения; по нормам требуется иметь не менее 1,5—2 см² поверхности катушки на каждый ватт подводенной электрической мощности.

Наконец, поскольку для обеспечения правильного теплового режима максимальная плотность тока в обмотке не может превышать величины 50—60 а/мм², то диаметр провода звуковой обмотки должен быть увеличен.

По сумме выше перечисленных причин подвижная система, воспроизводящая низкие частоты на больших мощностях, неизбежно имеет большую массу, достигающую 30—50 г.

На высоких частотах сопротивление излучения становится постоянным, излучаемая громкоговорителем мощность определяется отношением действующей поверхности* к квадрату его инерциального сопротивления: $\frac{S'}{(2\pi fm)^2}$.

Следовательно, излучаемая мощность быстро уменьшается при увеличении размеров диффузора и с возрастанием частоты. Для поддержания эффективности излучения диффузор должен быть легким и иметь малую массу.

Подвижная система такого громкоговорителя должна иметь практически диффузор и звуковую катушку малых размеров и веса (не более 3—5 г). Для тепловых режимов это допустимо, так как на высокие частоты падает небольшая величина пиковой мощности.

Таким образом, мы видим, что у громкоговорителя прямого излучения, имеющего одну подвижную систему, невозможно получить одинаково хорошее воспроизведение низких и высоких частот.

Рупорные громкоговорители

В таком громкоговорителе диафрагма имеет относительно малые размеры в сравнении с диффузором. Величина их связана с конструктивными соображениями, вытекающими из необходимости обеспечения требуемой жесткости формы диафрагмы, надежности ее подвеса, размерами и креплением звуковой катушки и т. п.

Из-за малых размеров излучателя при передаче низких частот значительной мощности рупорным громкоговорителем неизбежны большие амплитуды колебаний подвижной системы**. В связи с этим необходимо иметь достаточно

* Напомним, что у излучателя поверхностью S на высоких частотах отключаются краевые участки и фактически действующая поверхность S' уменьшается.

** Величина излучаемой мощности на данной частоте зависит от размера колеблющейся поверхности и амплитуды ее смещения. Одно и то же значение мощности в принципе может быть получено при большой поверхности и малом ее смещении или, наоборот, при малой поверхности и большом ее смещении.

большое расстояние между диафрагмой и передней стенкой предрупорной камеры, не только чтобы избежать ударов диафрагмы о стенку камеры, но и чтобы искажения в камере не превысили допустимой величины. Соответственно и объем камеры становится большим.

Уменьшение упругого сопротивления воздуха в предрупорной камере, вызванное увеличением объема, для низких частот не опасно — для них оно все же преобладает над сопротивлением излучения рупора.

Возникающая в рупоре низкочастотная звуковая волна имеет большую мощность, поэтому площадь горла рупора должна быть достаточно большой во избежание возникновения больших нелинейных искажений.

Вследствие ограниченных возможностей увеличения размеров диафрагмы величина коэффициента акустической трансформации не может быть большой. На низких частотах малая величина коэффициента акустической трансформации не нарушает требуемого соотношения между сопротивлением излучения рупора и инерциальным сопротивлением подвижной системы, так как последнее на этих частотах всегда меньше.

Совершенно иные условия должны быть созданы для хорошего излучения высоких частот. Прежде всего инерциальное сопротивление подвижной системы становится уже значительным на высоких частотах. Это требует для сохранения преобладания сопротивления излучения резкого увеличения его величины, что может быть обеспечено выбором большого значения коэффициента акустической трансформации.

Так как для воспроизведения высоких частот масса диафрагмы должна быть возможно меньшей, то увеличение коэффициента акустической трансформации возможно лишь за счет уменьшения площади горла рупора. В данном случае оно не может вызвать увеличения нелинейных искажений ввиду малой величины передаваемой на высоких частотах мощности. Кроме того, критическая частота высокочастотного рупора может быть выбрана достаточно большой, что также уменьшит искажения.

Наконец, последним условием хорошего воспроизведения высоких частот является малый объем предрупорной камеры, обеспечивающий нужную величину упругого сопротивления воздуха в ней. Ввиду небольшой величины амплитуды колебаний подвижной системы на этих частотах получение камер малого объема вполне реально.

Таким образом, и в однополосном рупорном громкоговорителе также совершенно противоположны требования, предъявляемые к основным элементам его конструкции для хорошего воспроизведения низких или высоких частот.

§ 3. Принцип построения двухполосных громкоговорителей

Вне зависимости от типа однополосного громкоговорителя при его конструировании проектировщику приходится искать пути примирения указанных выше противоречий.

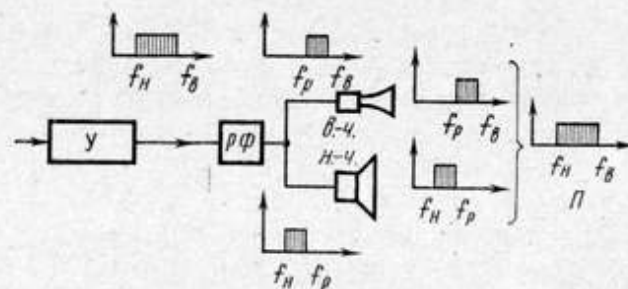


Рис. 73. Схема работы двухполосного громкоговорителя:

U — усилитель; РФ — разделительный фильтр; в.ч. — высокочастотный громкоговоритель; н.ч. — низкочастотный громкоговоритель; П — помещение

Такой путь, как показала практика, всегда приводит к необходимости снижать требования на качественные показатели громкоговорителя. Выход из положения был найден только при переходе к сложным излучающим системам, состоящим из ряда специализированных громкоговорителей, носящих общее название **многopolосных**.

В кинотеатральной аппаратуре широкое применение нашли **двухполосные** громкоговорители, наиболее удачно сочетающие высокие качественные показатели с техническими, экономическими и эксплуатационными требованиями.

Двухполосный громкоговоритель представляет собой сочетание двух громкоговорителей (рис. 73).

Первый из них приспособлен к воспроизведению только низких частот вплоть до известной, заранее выбранной границы и не приспособлен к воспроизведению высоких частот. Такой громкоговоритель принято называть **низкочастотным**.

Второй громкоговоритель, наоборот, предназначен для воспроизведения только высоких частот, начиная с выбранной границы, и не рассчитан на воспроизведение низких частот. Поэтому его называют **высокочастотным** громкоговорителем.

Важно правильно выбрать рабочую полосу каждого из громкоговорителей. Так, для низкочастотного громкоговорителя граничными частотами являются, с одной стороны, наименьшая частота воспроизводимого диапазона частот, а с другой, — частота разделения. Для высокочастотного громкоговорителя нижней частотой является частота разделения, верхней — наивысшая воспроизводимая частота.

Напомним, что граничные частоты всей полосы частот следует выбирать так, чтобы их произведение составляло $400\,000 \div 650\,000$. В этом случае обеспечивается правильная на слух балансировка соотношения низких и высоких частот и не происходит нарушения тембра передаваемого громкоговорителем звукового материала.

Частота разделения общая для обоих громкоговорителей выбирается такой, чтобы средние мощности передаваемого звукового материала распределялись между ними примерно одинаково. Это удобно для проектирования громкоговорителей, так как они могут быть выбраны одинаковой мощности. Кроме того, при таком выборе частоты разделения практически перестает быть заметным эффект раздельности звучания низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей. Последнее весьма важно, ибо заметная на слух работа любого из них резко снижает общее впечатление от качества звуковоспроизведения установки, несмотря на формально хорошие характеристики. Для современных двухполосных громкоговорителей принято частоту разделения выбирать в пределах $500—1500$ гц.

§ 4. Разделительные фильтры

Весьма важно обеспечить подведение к высокочастотному и низкочастотному громкоговорителям строго определенной полосы частот, то есть правильно распределить мощности подведенного сигнала.

Кроме функции разделения устройство, носящее название разделительного фильтра, должно защищать оба громкоговорителя от сигнала, частота которого лежит вне ра-

бочей полосы частот. Так, например, при попадании низкочастотного сигнала в высокочастотный громкоговоритель помимо появления больших искажений возможно повреждение подвижной системы.

Простейшим способом защиты высокочастотного громкоговорителя от попадания низких частот является включение его через емкость параллельно низкочастотному. Величина емкости конденсатора подбирается так, чтобы емкостное сопротивление становилось малым на частотах, не опасных для высокочастотной головки.

Простые схемы разделительных фильтров представлены на рис. 74. Низкочастотный громкоговоритель (рис. 74, а)

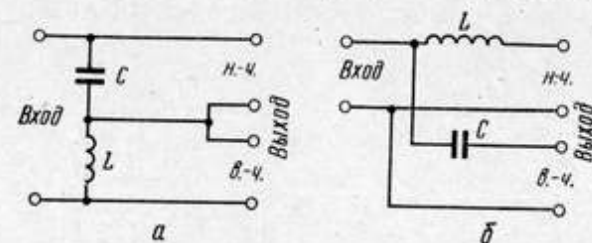


Рис. 74. Схемы простейших разделительных фильтров:

а — последовательного; б — параллельного

зашунтирован параллельно включенным конденсатором; высокочастотный — параллельно включенным дросселем. Так как громкоговорители включены последовательно, то и фильтр носит название **последовательного**.

На рис. 74, б дроссель включен последовательно с низкочастотным громкоговорителем, конденсатор — с высокочастотным. Громкоговорители при этом включаются параллельно, а фильтр носит название **параллельного**.

Как известно, при изменении частоты емкостное сопротивление конденсатора и индуктивное дросселя изменяются прямо противоположно друг другу. С увеличением частоты емкостное сопротивление конденсатора падает, а индуктивное сопротивление дросселя увеличивается. Поэтому, если рассматривать путь прохождения низких и высоких частот через фильтр, изображенный на рис. 74, б, то можно сразу увидеть, что низкочастотный громкоговоритель защищен от высокочастотных колебаний последовательно включенным дросселем, а высокочастотный громкоговоритель от низкочастотных колебаний — последовательно с ним включенным конденсатором.

Простейшие фильтры применяются сравнительно редко, обычно для аппаратуры небольшой мощности (не более 10—12 *вт*) и в тех случаях, когда особо важное значение имеют простота, легкость и дешевизна всех элементов (например, портативные комплекты).

Для установок с большей мощностью нужны и более надежные фильтры — их схема усложняется добавлением дополнительных конденсаторов и емкостей (рис. 75).

В этих фильтрах низкочастотный громкоговоритель защищен от попадания высоких частот последовательно включенным дросселем и параллельно включенным конденсатором. Для защиты высокочастотного громкоговорителя последовательно с ним включен конденсатор, а параллельно — дроссель.

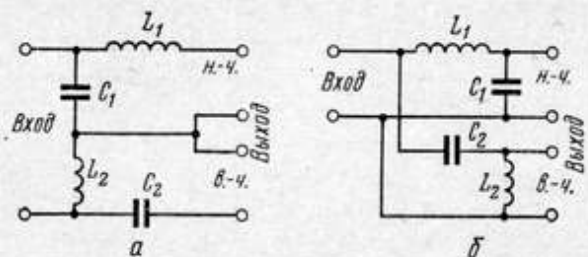


Рис. 75. Обычно применяемые схемы фильтров: а — последовательного; б — параллельного

Такие схемы получили широкое распространение, так как наряду с относительной простотой они имеют хорошие качественные показатели. Более сложные схемы фильтров не применяются, потому что помимо громоздкости и дороговизны существенным их недостатком является возможность возникновения искажений из-за нестабильности работы, ухудшающих звукопередачу.

Качество разделительного фильтра определяется по его частотным характеристикам, указывающим, в какой мере обеспечено разделение подводимой широкой полосы частоты.

Частотные характеристики показывают выраженное в децибелах ослабление тока (или напряжение) при прохождении сигнала от входа фильтра к выходу соответствующего канала. Характеристики строятся на графике, по горизонтальной оси которого откладывается частота, а по вертикальной — полученное значение ослабления в децибелах.

Характеристика состоит из двух кривых, одна из которых указывает ослабление высокочастотных сигналов в низ-

кочастотном канале фильтра, другая — ослабление низкочастотных сигналов в высокочастотном канале (рис. 76).

Частота, соответствующая точке пересечения кривых обоих каналов фильтра, называется частотой разделения, так как она является граничной между рабочими диапазонами частот высокочастотного и низкочастотного громкоговорителей.

Точка пересечения обеих кривых лежит на 3 дб ниже уровня в рабочем диапазоне частот, то есть к каждому из громкоговорителей на частоте разделения подводится только половина от общей мощности, отбираемой от усили-

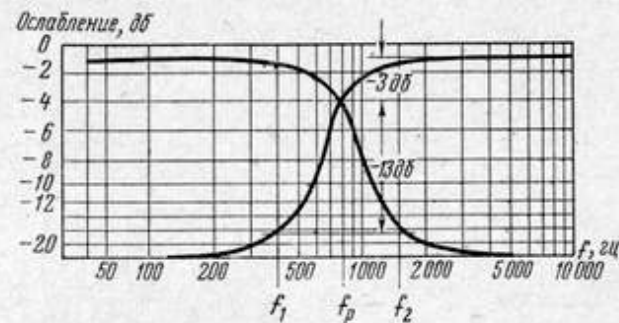


Рис. 76. Частотная характеристика разделительного фильтра (на активной нагрузке)

теля. Однако, так как на этой частоте оба громкоговорителя работают одновременно, общая излучаемая акустическая мощность не меняется и равна полной мощности канала звуковоспроизведения.

Из приведенных на рис. 76 кривых видно, что ослабление частот в прилегающих друг к другу участках характеристик происходит постепенно. Скорость спада характеристик в полосе фильтрации называется крутизной спада.

Крутизна спада характеризует, в какой мере каждый из узкополосных громкоговорителей канала загружается частотами, не входящими в его рабочую полосу.

Величина крутизны спада оценивается количеством децибел на октаву* ниже или выше частоты разделения,

* Октавой принято называть двойное изменение частоты (в сторону увеличения или уменьшения). Так, на рис. 76 частоты, на которых отмечается ослабление, будут равны половине частоты деления или двойной величине ее: при $f_p = 800$ гц; $f_1 = 400$ гц; $f_2 = 1600$ гц.

то есть показывает величину ослабления сигналов, частоты которых лежат за пределами номинальной полосы каждого узкополосного громкоговорителя (выше — для низкочастотного, ниже — для высокочастотного).

Крутизна спада зависит от схемы разделительного фильтра. Так, для фильтров, схема которых приведена на рис. 74, крутизна спада составляет от 4 до 5 дБ на октаву; для фильтров, указанных на рис. 75, — от 9,0 до 14 дБ.

Расчет фильтров производится двумя методами, общим условием для них является предположение, что выходы его н.-ч. и в.-ч. каналов нагружены одинаковыми по величине активными сопротивлениями, равными номинальному сопротивлению громкоговорителей.

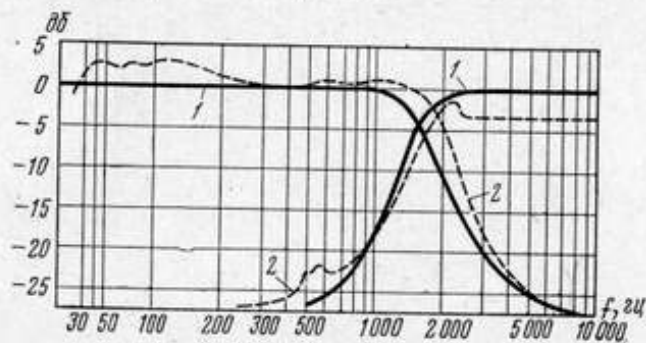


Рис. 77. Частотные характеристики разделительного фильтра двухполосного громкоговорителя:
1 — на активной нагрузке; 2 — на реальной нагрузке (головки)

Первый метод расчета определяет величину емкостей и индуктивностей схемы фильтра, при которых крутизна спада постоянна и теоретически равна 9,3 дБ на октаву, но фильтр имеет постоянное значение входного сопротивления во всем номинальном диапазоне частот.

Второй метод расчета, не меняя в принципе схему, позволяет найти такие значения L и C , при которых крутизна спада максимальная (до 18 дБ на октаву). Однако входное сопротивление такого фильтра меняется по частоте и тем больше, чем выше крутизна спада. Практическое использование такие фильтры нашли при величине крутизны спада 12÷14 дБ.

В реальных условиях звенья фильтра нагружены сопротивлением, которое меняется по частоте. Это приводит к необходимости после расчета корректировать полученные

значения L и C , добиваясь в системе фильтр—громкоговоритель возможно более близкого соответствия частотных характеристик тем, которые имеет этот же фильтр при нагрузке активным сопротивлением. Естественно, что сами кривые становятся менее плавными, а частота деления и крутизны спадов несколько отличается от расчетных (рис. 77).

Если по каким-то причинам номинальное сопротивление одного из громкоговорителей (например, высокочастотного)

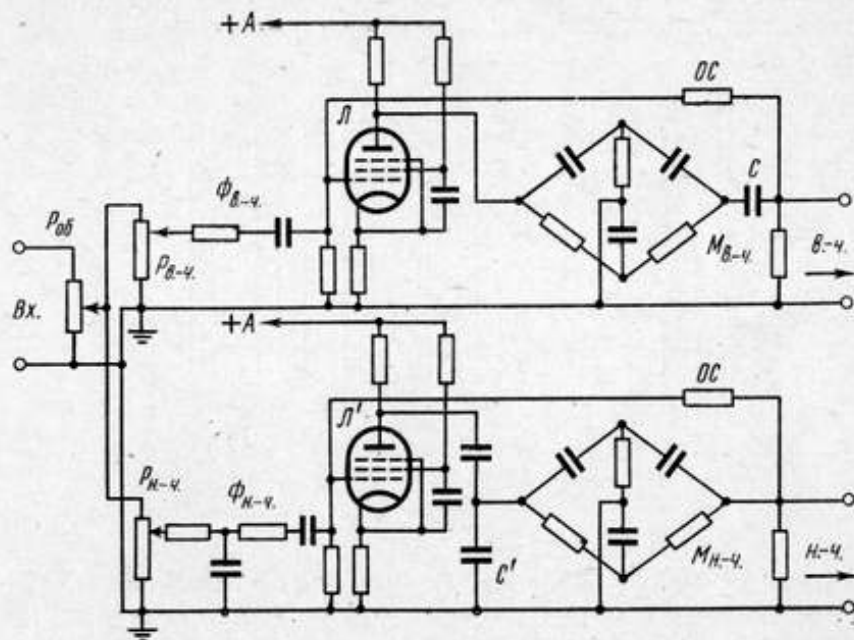


Рис. 78. Схема разделительного каскада аппаратуры КЗВТ:
 $P_{об}$; $P_{н.-ч.}$; $P_{в.-ч.}$ — регуляторы уровня сигнала; $\Phi_{н.-ч.}$; $\Phi_{в.-ч.}$ — фильтры;
 OC — цепь обратной связи; $M_{н.-ч.}$; $M_{в.-ч.}$ — балансные мосты

существенно отличается, то на выходе соответствующего звена фильтра включается согласующий трансформатор.

Чем выше крутизна спада характеристик разделительного фильтра, тем уже становится область совместной работы высокочастотных и низкочастотных громкоговорителей, а следовательно, и режим работы каждого облегчается. Это приводит к улучшению качественных показателей двухполосного громкоговорителя, сопровождаемого в то же время усложнением и удорожанием фильтра. Поэтому выбор схемы фильтра связан с общими требованиями, предъявляемыми к комплексу звуковоспроизводя-

щей аппаратуры, которые определяются местом ее применения.

Потребность реализовать положительные качества сужения полосы совместной работы звеньев двухполосного громкоговорителя привела к практическому использованию еще одного способа разделения широкополосного сигнала.

В этом случае вместо обычного LC -фильтра, включаемого на выходе широкополосного оконечного усилителя, разделительный фильтр включается на переходе между предварительным усилителем и оконечными узкополосными усилителями.

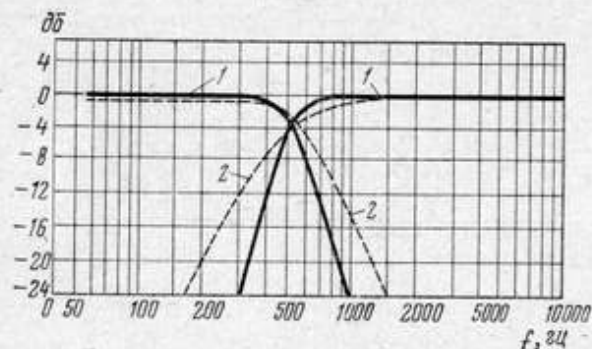


Рис. 79. Частотные характеристики фильтра КЗВТ (1) и обычного (2)

Такой способ разделения получил название способа двухполосного воспроизведения звука и впервые в кинематографии был внедрен в практику в Советском Союзе в аппаратуре типа КЗВТ.

На рис. 78 изображена схема фильтра КЗВТ, носящего уже более правильное название разделительного каскада. Срезание нерабочей области частот происходит за счет фильтров $\Phi_{в.ч.}$ и $\Phi_{н.ч.}$, стоящих на входе разделительных каскадов, и конденсаторов C и C' в цепях обратной связи.

Наличие цепи обратной связи с включенными асимметрированными балансными мостами $M_{в.ч.}$ и $M_{н.ч.}$ реостатно-ёмкостного типа позволяют получить частотную характеристику каждого каскада, круто падающую на частоте баланса мостов.

Сочетание элементов схемы (фильтры и обратная связь) подобрано таким образом, что характеристика на выходе разделительных каскадов соответствует характеристике фильтра с очень большой крутизной спада.

Характеристика разделительных каскадов комплекта КЗВТ дана на рис. 79, там же для сравнения пунктиром приведена характеристика фильтра LC .

Крутизна спада фильтров КЗВТ достигает 18 дБ на пол-октавы, а на октаву происходит уже почти полное затухание сигнала. При таких характеристиках совместная работа высокочастотного и низкочастотного громкоговорителей практически отсутствует, то есть каждый из них работает в строго определенной полосе частот. Это обстоятельство является одним из условий, обеспечивающих высокие качественные показатели аппаратуры КЗВТ.

Однако улучшение качественных показателей в данном случае достигается дорогой ценой. Количество оконечных усилителей возрастает вдвое, соответственно растут габариты и стоимость аппаратуры.

Прогресс в конструировании усилителей, новые схемные решения и улучшение громкоговорителей позволили в новом унифицированном ряде кинотеатральной аппаратуры серии «Звук» получить качественные показатели на уровне показателей КЗВТ и одновременно сохранить вплоть до мощных комплектов («Звук 6×100») экономичный принцип однополосного усиления с LC разделительными фильтрами на выходе и двухполосными громкоговорителями.

Только в больших универсальных комплектах КЗТУ мощностью 200 и 400 *вт* в канале для крупных киноконцертных залов и залов многоцелевого назначения принцип двухполосного звуковоспроизведения, начиная со входа мощных оконечных усилителей, оставлен без изменения. В данном случае увеличение количества оконечных усилителей в таком большом и сложном комплекте не является решающим фактором в сравнении с достижением главных целей — максимального удовлетворения жестких требований к качественным показателям комплекта и, в первую очередь, малость нелинейных искажений.

§ 5. Акустическое оформление двухполосных громкоговорителей

Двухполосные громкоговорители, как мы уже установили, представляют собой два узкополосных громкоговорителя — низкочастотный и высокочастотный, которые тем или иным методом объединены в общую конструкцию. Из описания устройства громкоговорителей в следующем

параграфе мы убедимся, что вне зависимости от конструктивного решения всего громкоговорителя его узкополосные звенья в каждом случае являются законченной конструкцией, способной работать и самостоятельно.

За длительный путь развития аппаратуры звукового кинематографа было создано несколько типов акустического оформления двухполосного громкоговорителя.

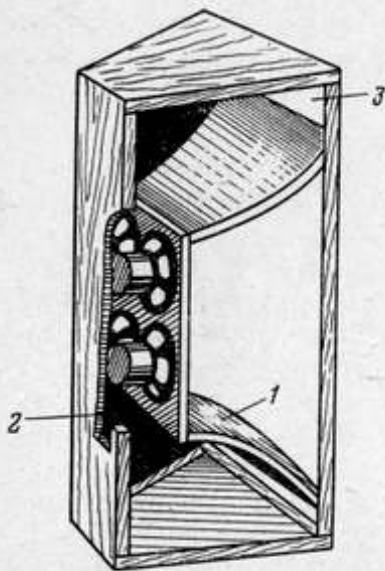


Рис. 80. Схема акустического оформления низкочастотного громкоговорителя:
1 — прямой экспоненциальный рупор; 2 — ящик; 3 — фазоинверсные отверстия

Низкочастотное звено двухполосных громкоговорителей массового применения (25-вт и одноканальные 50-вт комплекты) в качестве акустического оформления использует ящик-фазоинвертор. В предыдущей главе мы подробно на этом виде оформления останавливались, поэтому напомним лишь, что еще вполне удовлетворительные технические качества фазоинвертора удачно сочетаются с эксплуатационно-экономическими (вес, габариты, простота).

В более мощных комплектах аппаратуры (50 и 100 вт в канале) качественные требования выходят на первое место, остальные должны решаться предельно разумно, но не наносить явный ущерб первым. Низкочастотные звенья таких громко-

говорителей в качестве акустического оформления используют прямые широкогорлые экспоненциальные рупоры, встроенные в ящики большого объема. Внутренний объем ящика через два отверстия, расположенные симметрично устью рупора, сообщаются с воздухом впередилежащего пространства (рис. 80).

Из схемы рис. 80 следует, что в данном случае происходит тот же эффект фазоинверсии, как и в обычном ящике-фазоинверторе с головкой прямого излучения. Конечно, физические процессы существенно более сложны (две или четыре головки, размеры ящика, наличие рупора), но в результате в определенной начальной зоне низких частот выходное отверстие рупора и симметрично ему распо-

ложенные отверстия ящика работают, как синфазные излучатели.

Наконец, только в мощных универсальных комплектах КЗТУ для киноконцертных и многоцелевых залов в качестве акустического оформления низкочастотных звеньев порталных и зальных двухполосных громкоговорителей используется звуковая колонка*.

Применение такого типа акустического оформления вызывается необходимостью получить определенной формы характеристики направленности, разные для горизонтальной и вертикальной плоскостей. Одновременно этот тип акустического оформления позволяет предельно сократить ширину и глубину низкочастотного громкоговорителя, что весьма важно для скрытого их размещения в архитектурно-строительных конструкциях зала.

Для краткого ознакомления с принципом работы рассмотрим приведенную на рис. 81 схему звуковой колонки. В простейшем случае этот тип группового излучателя состоит из нескольких головок прямого излучения, расположенных вдоль вертикальной линии передней стенки закрытого ящика на небольших расстояниях друг от друга.

Такая линейная группа излучателей обладает разной направленностью излучения в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В горизонтальной плоскости направленность группы головок практически не отличается от направленности одиночной головки этого же типа. В вертикальной плоскости характеристика направленности сильно обостряется за счет интерференции излучений отдельных головок. Действительно, пока точка наблюдения находится на оси вертикальной цепочки, то при достаточном удалении от колонки можно приходящие от отдельных головок колебания считать синфазными, то есть склады-

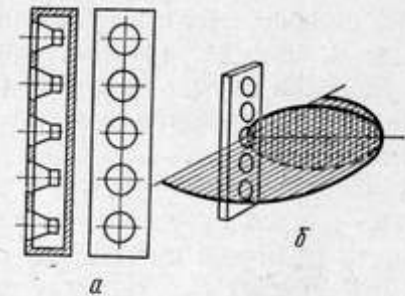


Рис. 81. Схема звуковой колонки (а) и ее характеристика направленности (б)

* Звуковые колонны (или, как их обычно называют, колонки) за последнее десятилетие из-за преимуществ пространственных диаграмм направленности в виде широкого языка нашли широкое применение для целей звукофикации, успешно конкурируя и вытесняя широкополосные рупорные громкоговорители.

вающимися и усиливающими друг друга (рис. 81, б). При смещении точки наблюдения с оси приходящие в нее звуковые колебания от различных головок имеют различные фазы и, следовательно, в той или иной мере ослабляют друг друга. Чем на больший угол смещена точка наблюдения от оси, тем заметнее проявляется интерференция за счет разности фаз приходящих в нее колебаний.

Аналогичные характеристики направленности могут быть получены и у рупорного громкоговорителя, выходное отверстие которого имеет форму сильно вытянутого прямоугольника (см. предыдущую главу). Однако существенным недостатком его будет оставаться большая осевая глубина громкоговорителя в сравнении с колонкой и необходимость всю мощность громкоговорителя реализовывать одной, в крайнем случае — двумя головками, тогда как в колонке она распределяется между всеми головками (их может быть много).

Следует заметить, что в реальных конструкциях количество головок в линейном ряду, количество рядов, особенности размещения головок в ряду могут быть различными, а выбор этих сочетаний определяется требованиями на вид характеристик направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Если для низкочастотного звена двухполосного громкоговорителя в кинотеатральной практике применяются три типа акустического оформления, то для его высокочастотного звена вне конкуренции, начиная с аппаратуры КЗВТ (1949—1950 гг.), используются рупорные громкоговорители нормального типа. Однако за эти годы сам рупор конструктивно претерпевал изменения, описанием которых мы и закончим этот параграф.

Возвращаясь еще раз к предыдущей главе, вспомним о неприятной особенности рупорного громкоговорителя — обострение характеристик направленности на высоких частотах. При оптимальном выборе параметров рупора, приводящих к увеличению его габаритов, постоянство направленности удастся поддержать только до 5—6 кгц. Выше, с ростом частоты, характеристика направленности непрерывно сужается.

Первый метод борьбы с этим недостатком, особо неприятным для высокочастотного громкоговорителя, практически был найден путем создания конструкции с е к ц и о н и р о в а н н ы х, или м н о г о я ч е й к о в ы х, рупоров. Секционированный рупор состоит из некоторого количе-

ства рупоров небольших размеров (обычно квадратных с размером выходного отверстия 20×20 см), соединенных вместе горлами и устьями. При этом оси их оказываются развернутыми в пространстве расходящимся пучком. Так как для окружающего рупор пространства выходное отверстие является вторичным излучателем, возбуждающим звуковую волну, то секционированный рупор является групповым излучателем, составляющие которого расположены по многограннику, имитирующему часть сферической поверхности.

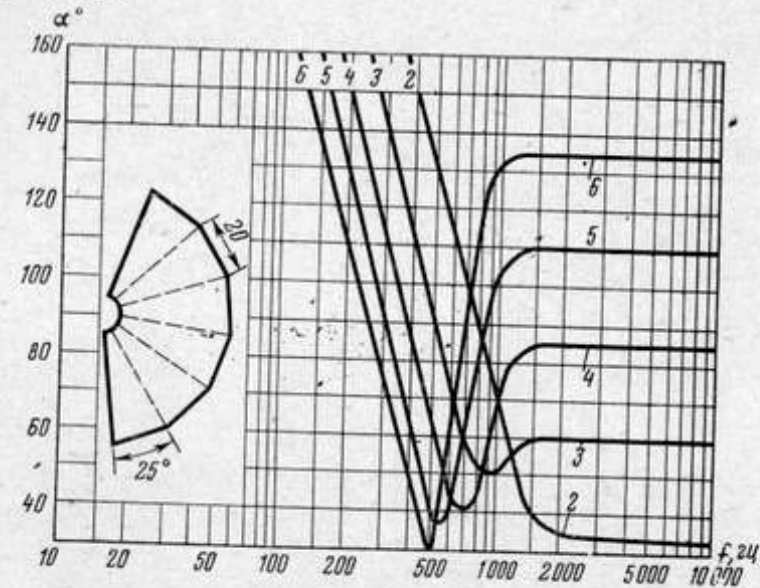


Рис. 82. Угловая ширина диаграммы направленности секционированного рупора:

α — угловая ширина основной части диаграммы; 2, 3, 4, 5, 6 — число ячеек

Хотя излучение каждой ячейки секционированного рупора и обостряется с ростом частоты, общая суммарная направленность его остается широкой и определяется пространственным углом веера осей.

На рис. 82 для пояснения сказанного приведены теоретические частотные характеристики зависимости направленности от числа ячеек в плоскости, содержащей веер осей. Основная часть диаграммы направленности, то есть угол, в пределах которого звуковое давление уменьшается не более чем вдвое, вначале обостряется за счет интерференции излучения отдельных ячеек, после некоторого минимума вновь расширяется и остается постоянной. Величина угло-

вой ширины излучения в этой части частотного диапазона зависит только от числа ячеек, так как из-за заостренности характеристики каждой ячейки интерференционные явления становятся крайне незначительными и ширина суммарной диаграммы определяется только расхождением осей ячеек.

На рис. 83 изображены двухполосные громкоговорители 30А-9 (комплект КЗВТ-3) и 30А-3 (комплект КУСУ-52).

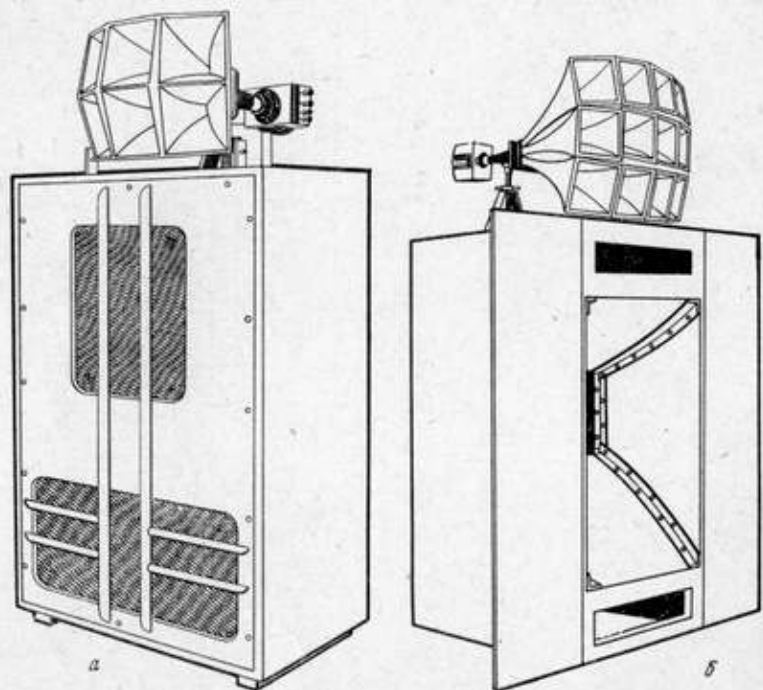


Рис. 83. Двухполосные громкоговорители с секционированными в.-ч. рупорами 30А-3 (а) и 30А-9 (б)

В первом применен секционированный рупор из двенадцати (3×4) ячеек, возбуждаемый двумя головками 1А-13 через V-образную горловину. Во втором громкоговорителе у высокочастотного рупора число ячеек шесть (2×3), и возбуждается он одной головкой того же типа. Из рис. 83 понятно и конструктивное исполнение секционированных рупоров, весьма сложное и трудоемкое.

В целом ряде случаев для акустических процессов могут быть использованы те же законы, что и для оптики. В частности, распространение звуковых волн с вполне до-

статочным для практического использования приближением подчиняется законам геометрической оптики.

Используя эту аналогию, уже давно делали попытки использовать акустические линзы в тех же целях концентрации или рассеивания звуковой энергии, в каких эти линзы применяются в оптике. В ультразвуковой технике такие линзы применяются давно (на частотах выше 20 кгц).

Применительно к слышимому диапазону частот (от 3—5 кгц и выше) практический интерес представляло использование рассеивающих линз как способа расширения характеристик направленности высокочастотных громкоговорителей.

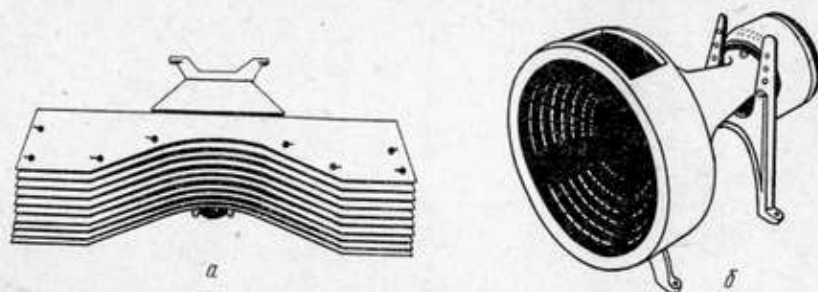


Рис. 84. Типы звуковых линз:
а — пластинчатая гиперболическая; б — перфорированная цилиндрическая

Практически осуществленные конструкции таких линз (рис. 84) обеспечивали необходимые качественные результаты, но в производстве оказывались более сложными, чем секционированные рупоры, и по этой причине не нашли широкого применения.

Изучая практику использования кинотеатральных двухполосных громкоговорителей, Б. Г. Белкин обратил внимание, что в реальных условиях прежде всего важно иметь расширенные и постоянные характеристики направленности в горизонтальной плоскости. Это определяется основным требованием к системе звуковоспроизведения фонограмм кинофильмов — обеспечить равномерное покрытие прямой звуковой энергией, то есть энергией от громкоговорителей, всю площадь зрительских мест. При таком требовании узкая вертикальная направленность даже желательна. В залах, имеющих балконы, применяются мощные комплекты, в которых высокочастотное звено имеет не менее двух громкоговорителей и широкие вертикальные характеристики направленности в каждом из них опять не нужны.

Опираясь на сделанные выводы, Белкин разработал методику расчета и предложил конструкцию простой рассеивающей линзы, которая быстро вытеснила из производства секционированный рупор.

Рассмотрим принцип работы и устройство такой акустической линзы. Ранее мы уже установили, что рупорный громкоговоритель на высоких частотах излучает звуковую волну, фронт которой вблизи его устья, то есть выходного отверстия, плоский.

В такой волне частицы воздуха, имеющие одинаковые амплитуду и фазу колебаний, размещаются на плоскости, перпендикулярной акустической оси рупора, а следовательно, звуковые волны распространяются вдоль нее.

Если на пути такой волны поставить линзу, состоящую из ряда косо поставленных пластин, то выходящая из рупора звуковая волна вынуждена пройти ряд каналов, образованных смежными пласти-

нами, и только после этого она сможет попасть в окружающее пространство (рис. 85).

Длина пути, который проходит звуковой луч в канале линзы, зависит от угла наклона пластин — она тем больше, чем больше этот угол.

Вследствие этого после линзы звуковая волна из плоской превращается в цилиндрическую, то есть в такую волну, у которой в горизонтальной плоскости синфазно колеблющиеся частицы воздуха располагаются уже не на плоскости, а на окружности. Такое изменение фронта волны соответствует изменению характеристик направленности, и угол излучения увеличивается при переходе от плоской волны к цилиндрической.

Для каждой линзы существует предельное значение угла излучения, величина которого связана с размерами устья рупора и параметрами самой линзы.

Ограничение излучаемого угла связано также и с невозможностью сильно наклонять пластины. Из схемы рис. 85 видно, что если пластину очень сильно наклонить, то вся звуковая волна падает на ее поверхность. При этом

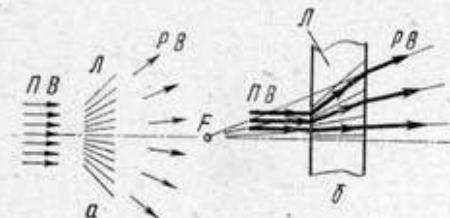


Рис. 85. Схема (а) и принцип работы (б) плоскопараллельной рассеивающей линзы:

ПВ — падающая плоская волна на входе линзы; *Л* — линза; *РВ* — расходящаяся волна на выходе линзы; *F* — фокус линзы

происходит отражение ее обратно в рупор, а сквозь линзу проходит только незначительная ее часть.

Так как в такой линзе входное и выходное отверстия плоские и располагаются параллельно друг другу, то она называется плоскопараллельной рассеивающей акустической линзой.

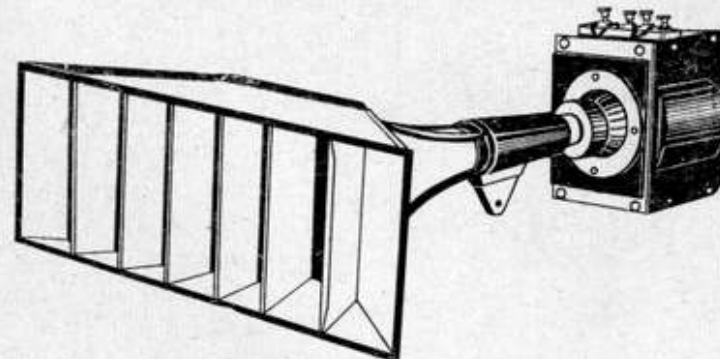


Рис. 86. Высокочастотный рупор 5А-8 с линзой

На рис. 85 приведена одна из первых моделей линзы с рупором, применяемых в громкоговорителе 30А-3. Как видно из эскиза, линза состоит из двух металлических стенок — верхней и нижней, между которыми вварены пластины.

По отношению к оси рупора линза симметрична, то есть каждая пара пластин имеет одинаковые углы разворота и, следовательно, одинаковые геометрические размеры. Две крайние пластины образуют боковые стенки линзы, а вся она в целом имеет форму усеченной пирамиды. Линза сварена с рупором и составляет вместе с ним одно целое. В дальнейшем производством была разработана технология отлива в одной модели рупора и линзы, что еще более упростило изготовление.

На рис. 87 в качестве иллюстрации к сказанному приведены характеристики направленности шестичейкового сек-

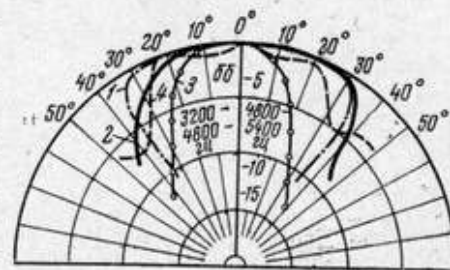
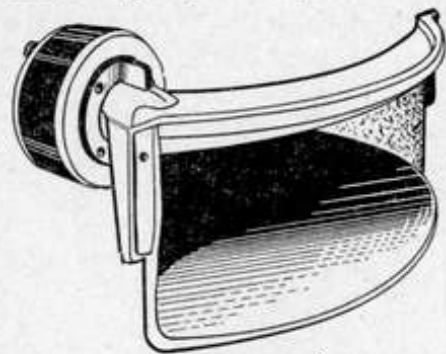


Рис. 87. Характеристики направленности:

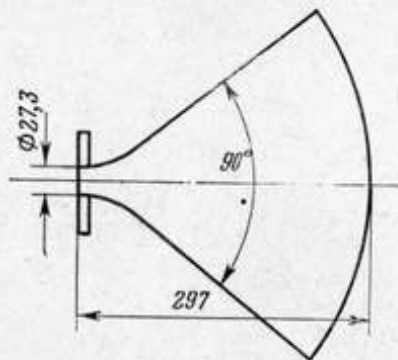
1 — рупор с линзой; 2 — расчетная; 3 — рупор без линзы; 4 — секционированный рупор

ционированного рупора в сравнении с рупором без линзы и с линзой.

Несмотря на более простую конструкцию высокочастотного рупора с рассеивающей линзой, продолжались

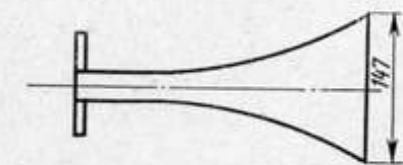


а



297

90°



147

б

Рис. 88. Общий вид (а) и схема (б) рупора с цилиндрическим фронтом волны

поиски еще более простых решений. При этом было обращено внимание на то, что решение задачи сводится к получению в выходном отверстии рупора не плоской волны, а волны с цилиндрическим фронтом.

Анализ отрывочных литературных данных и некоторых образцов позволил И. А. Храбан предложить методику расчета и конструкцию рупора цилиндрического фронта волны (рис. 88).

Такой рупор также имеет прямую ось и сечения его вдоль оси возрастают по экспоненциальному закону. Однако в обычном рупоре по указанному закону увеличиваются площади сечения в плоскостях, перпендикулярных оси рупора. У данного же рупора по экспоненциальному закону увеличивается площадь цилиндрических поверхностей, перпендикулярных оси рупора и описываемых радиусами, лежащими в общей точке также на его оси (рис. 88, б).

Вначале рупор цилиндрического фронта волны

из-за малой кривизны сечений почти совпадает с экспоненциальным, но затем все больше и больше от него отличается. В плане боковые стенки рупора почти прямые и образуют угол, близкий к 90°. Скорость раскрытия верхней

и нижней стенок непрерывно возрастает при приближении к устью, выходное отверстие имеет форму цилиндрической поверхности.

Благодаря такому закону раскрытия плоская в начальных сечениях рупора волна постепенно меняет свой фронт и на выходе имеет цилиндрическую форму. Следовательно, в горизонтальной плоскости характеристики направленности так же расширяются, как и у рупора с рассеивающей

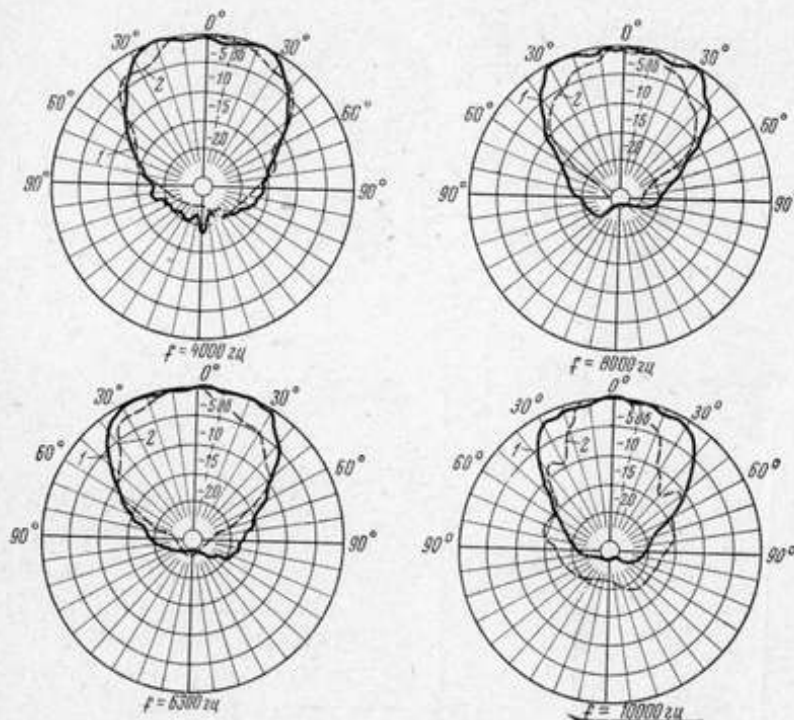


Рис. 89. Характеристики направленности рупора цилиндрического фронта волны (1) и рупора с линзой (2)

линзой. Параметры рупора цилиндрического фронта волны могут быть подобраны таким образом, чтобы характеристики направленности были однотипны аналогичным для рупора с рассеивающей линзой или секционированного рупора (рис. 89). В то же самое время производство таких рупоров литьем из алюминиевых сплавов наиболее просто. По этой причине высокочастотные громкоговорители объединения ЛОМО (Ленинград) используют теперь только новые рупоры.

Рупоры цилиндрического фронта волны могут изготавливаться прессованием из пластмассы, как две склеиваемые между собой половины. Такое производство готовит Самаркандский завод «Кинап».

§ 6. Устройство двухполосных громкоговорителей

Конструктивное оформление двухполосных громкоговорителей зависит от сочетания требований к качественным показателям с экономическими, производственно-технологическими и эксплуатационными соображениями.

Проиллюстрируем указанное положение кратким описанием отечественных типов двухполосных кинотеатральных громкоговорителей, входящих в комплект стационарной звуковоспроизводящей аппаратуры.

Громкоговоритель 30А-13 (рис. 90) входит в комплект звуковоспроизводящей стереофонической аппаратуры КЗВТ-10.

Он состоит из мощного низкочастотного и двух высокочастотных громкоговорителей, размещенных на первом так, чтобы они были смещены по отношению друг к другу по горизонтали и вертикали. Каждый высокочастотный громкоговоритель имеет свое подъемное приспособление, позволяющее изменять угол наклона на оси рупора.

Рис. 90. Двухполосный громкоговоритель 30А-13 комплекта КЗВТ-10

Высокочастотный громкоговоритель состоит из двух головок 1А-16, нагруженных с помощью V-образной горловины на прямой металлический рупор прямоугольного сечения с критической частотой 260 гц. В свою

очередь, выходное отверстие рупора работает на звуковую линзу, состоящую из 14 пластин, расположенных под переменным углом по отношению к оси рупора.

Благодаря рассеивающим линзам средний угол излучения каждого высокочастотного громкоговорителя составляет величину порядка 70°.

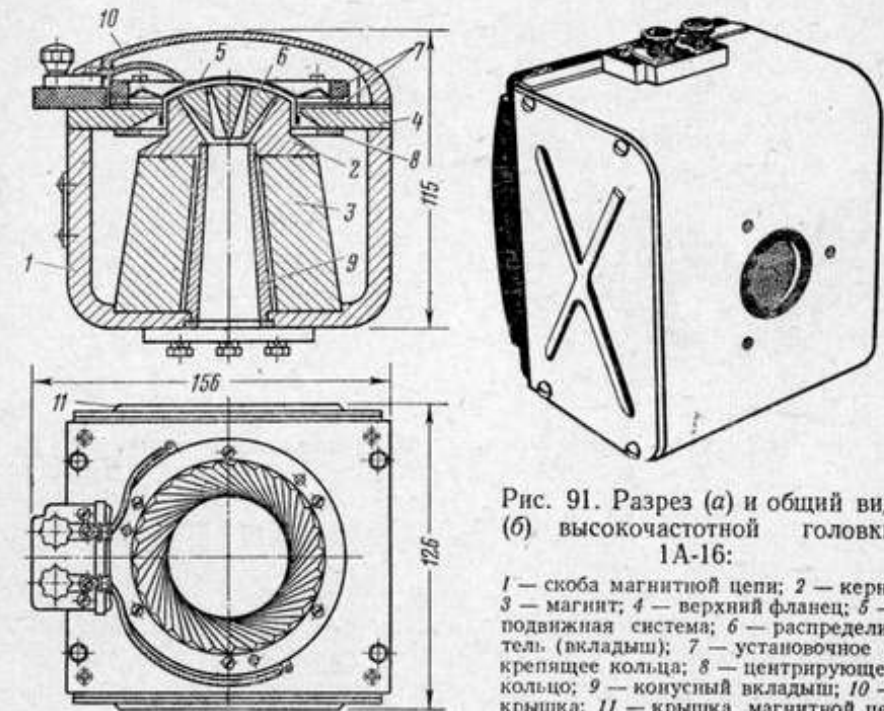


Рис. 91. Разрез (а) и общий вид (б) высокочастотной головки 1А-16:

1 — скоба магнитной цепи; 2 — керн; 3 — магнит; 4 — верхний фланец; 5 — подвижная система; 6 — распределитель (вкладыш); 7 — установочное и крепящее кольцо; 8 — центрирующее кольцо; 9 — конусный вкладыш; 10 — крышка; 11 — крышка магнитной цепи (щеки)

Высокочастотная головка 1А-16 представляет собой рупорную головку нормального типа с возбуждением керновым постоянным магнитом.

Разрез головки и ее общий вид показаны на рис. 91, а некоторые детали — на рис. 92.

Подвижная система головки состоит из диафрагмы и звуковой катушки. Диафрагма штампуются из дюралюминиевой фольги толщиной 0,06 мм, звуковая катушка намотана на бумажном каркасе, приклеенном клеем БФ к диафрагме (рис. 92).

Куполообразная часть диафрагмы является излучающей поверхностью, а плоский воротник с нанесенным на нем тангенциальным гофром — подвесом подвижной системы.

Подвижная система 5 (см. рис. 91) размещается на верхнем фланце 4 магнитной цепи после ее сборки и намагничивания. Кольца 7 служат для правильного размещения звуковой катушки в воздушном зазоре магнитной цепи и выдерживания заданной высоты предрупорной камеры (нижнее кольцо), а также для закрепления подвижной системы (верхнее кольцо).

Предрупорная камера образована зазором между внутренней поверхностью купола диафрагмы и сферической поверхностью керна 2 и специального вкладыша 6 называемого распределителем.



Рис. 92. Магнитная цепь (а) и схема подвижной системы (б) головки 1А-16:

1 — двухщелевой распределитель; 2 — установочное кольцо-прокладка; 3 — магнитопровод; 4 — диафрагма; 5 — каркас катушки; 6 — звуковая катушка

Входное отверстие рупора представляет собой две концентрические щели, образованные двумя конусами, составляющими вкладыш. Таким образом, излучение звука происходит через kern 2, а короткое коническое отверстие внутри магнитной цепи является входной частью рупора. Сам рупор крепится к скобе магнитной цепи 1.

Центрирующее кольцо 8, закрепленное на верхнем фланце 4, обеспечивает соосность керна 2 и отверстия в этом фланце, то есть заданную ширину воздушного зазора. Конусный вкладыш 9 соединяет kern 2, магнит 3 и скобу магнитной цепи 1.

Диафрагма подвижной системы 5 защищена пластмассовой крышкой 10, а стальные крышки 17 замыкают магнитную цепь и одновременно защищают от пыли внутреннюю ее часть.

Изготовление деталей и сборка узлов головки производятся на точных приспособлениях, обеспечивающих посадку и смену подвижной системы без дополнительной юстировки.

Низкочастотный громкоговоритель имеет четыре головки 2А-9, нагруженные на прямой экспоненциальный рупор, который вместе с головками встроен в трапециевидный ящик. Конструкция оформления низкочастотного громкоговорителя нами ранее разбиралась (см. рис. 80). Для использования заднего излучения внутренний объем ящика соединен отверстиями с внешней средой, за счет

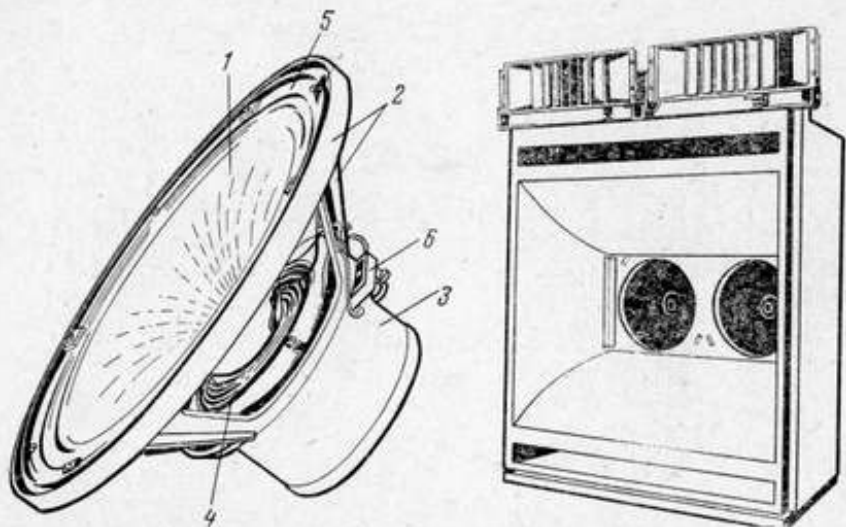


Рис. 93. Низкочастотная головка 2А-9:

1 — диффузор; 2 — диффузордержатель; 3 — магнитная цепь; 4 — центрирующая шайба; 5 — прижимное кольцо; 6 — клеммная колодка

Рис. 94. Двухполосный громкоговоритель 30А-30 комплекта КЗВС-3

чего на 3—5 дБ увеличивается отдача на частотах ниже 100 гц. Выходное отверстие рупора обрамлено жестко с ним связанными приставными щитами.

Низкочастотная головка 2А-9 (рис. 93), за исключением веса и размеров, ничем не отличается от головки прямого излучения. Имея диффузор весом 31 г с диаметром излучающей поверхности 285 мм, мощную звуковую катушку 25 г и гибкий подвес, головка 2А-9 обеспечивает хорошее воспроизведение низких частот, начиная с 45 гц.

Громкоговоритель 30А-30 (рис. 94) входит в состав комплекта стереофонической аппаратуры типа КЗВС-3.

Низкочастотный громкоговоритель представляет собой относительно небольших размеров прямой экспоненциальный рупор с двумя головками типа 2А-9. Рупор встроен в ящик, внутренний объем которого через два отверстия,

расположенные в плоскости устья рупора, сообщается с внешней средой.

На низкочастотном рупоре установлены два высокочастотных громкоговорителя, каждый из которых состоит из рупорной высокочастотной головки 1А-17 нормального типа и рупора с рассеивающей линзой. Рупоры и линзы те же, что и в громкоговорителе 30А-13; имеется возможность менять угол наклона оси рупора в вертикальной плоскости.

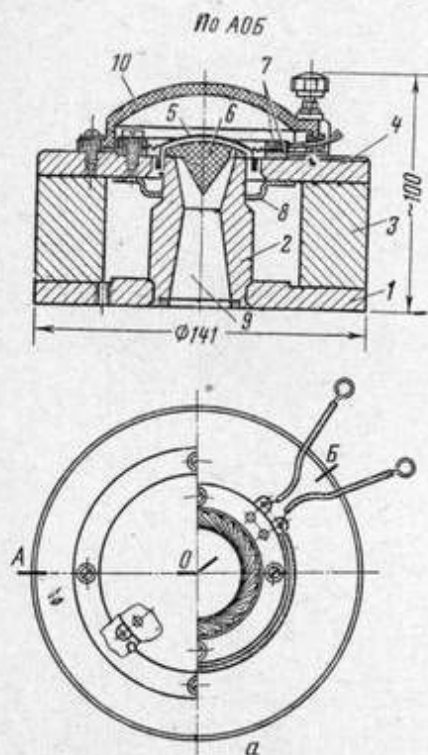


Рис. 95. Разрез (а) и общий вид (б) высокочастотной головки 1А-17:

1 — нижний фланец; 2 — керн; 3 — магнит; 4 — верхний фланец; 5 — подвижная система; 6 — однощелевой распределитель; 7 — установочное и крепящее кольца; 8 — центрирующее кольцо; 9 — горло рупора; 10 — крышка

Высокочастотная головка 1А-17 более проста и, естественно, обладает несколько более скромными показателями в сравнении с головкой 1А-16. Разрез и общий вид головки показаны на рис. 95, а некоторые детали — на рис. 96.

Так как назначения основных деталей и узлов головки 1А-17 те же, что и в головке 1А-16, остановимся на различии между ними, а остальные пояснения даны на рисунках.

Подвижная система 5 (рис. 95, а) по конструкции такая же, как и у головки 1А-16, но имеет меньшую по размерам диафрагму. В связи с этим упрощена предрупорная камера и входное отверстие рупора здесь — кольцевая щель, образованная специальной конструкцией вкладыша б.

Магнитная цепь образована кольцевым магнитом 3, верхним 4 и нижним 1 фланцами, а также керном 2. Расточка внутри керна образует начало рупора, сам же рупор крепится к нижнему фланцу 1, то есть в головке 1А-17 излучение также происходит через керн.

Громкоговорители 30А-14, 30А-15, 30А-32 и 30А-42 (рис. 97 и 98) являются, по существу, модификацией одной и той же модели.

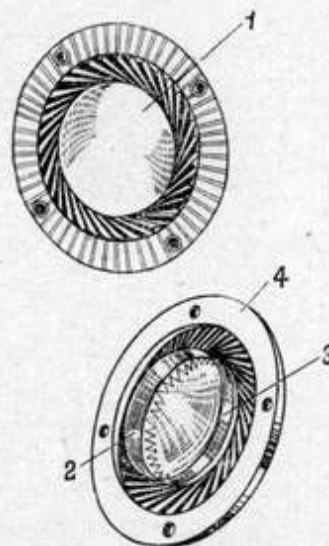


Рис. 96. Подвижная система головки 1А-17:

1 — диафрагма; 2 — каркас катушки; 3 — звуковая катушка; 4 — установочное кольцо

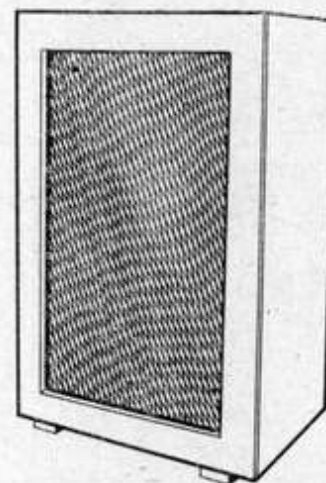


Рис. 97. Двухполосные громкоговорители 30А-14 и 30А-15

Низкочастотным громкоговорителем в нем является фазоинверсный ящик с головкой 2А-9, а высокочастотным — рупорный громкоговоритель нормального типа с головкой 1А-17.

В громкоговорителях 30А-14 и 30А-15 рупор имеет рассеивающую звуковую линзу и все высокочастотное звено встроено в ящик-фазоинвертор (рис. 97). Громкоговорители 30А-32 и 30А-42 уже применяют рупор цилиндрического фронта волны* вместо экспоненциального рупора с линзой. Как видно из рис. 98, высокочастотное звено наполовину врезано в фазоинверсный ящик, остальная конструкция громкоговорителя осталась без изменений.

* Для упрощения в дальнейшем рупор цилиндрического фронта волны мы будем называть «цилиндрический рупор».

Громкоговорителями 30А-15 и 30А-32 комплектовались одноканальные комплекты КУСУ-52С и поэтому в их состав входят разделительные фильтры.

Громкоговорители 30А-14 и 30А-42 используются в качестве вспомогательных в комплектах КЗВТ-10 (канал эффектов, фойе, контроль) и разделительных фильтров не имеют.

Громкоговорители 25ГДД-1 являются основными в комплекте 25УЗС-1 и по конструкции повторяют громкогово-

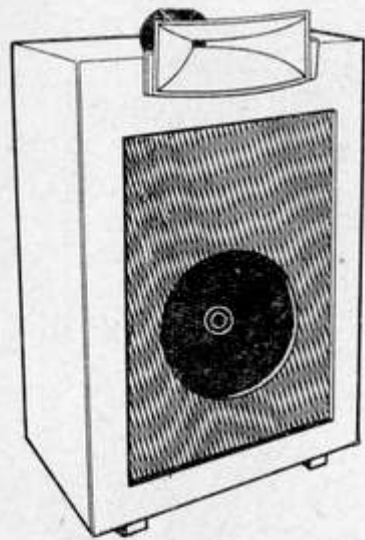


Рис. 98. Двухполосные громкоговорители 30А-32 и 30А-42

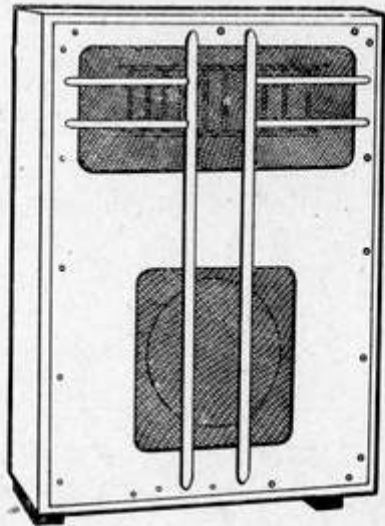


Рис. 99. Двухполосный громкоговоритель 25ГДД-1 комплекта 25УЗС-1

рители 30А-15 (рис. 99), внешне отличаясь лишь видом декоративной крышки. Здесь также низкочастотное звено есть фазоинверсный ящик с головкой 25ГДН-4, в которое встроено высокочастотное звено — рупор с рассеивающей линзой и головкой 5ГДВ-8.

Низкочастотная головка прямого излучения 25ГДН-4 по своим данным очень близка к головке 2А-9. Ее подвижная система изготавливается на основе диффузора 2А-9. Основное отличие заключается в применении штампованного диффузородержателя вместо литого в 2А-9 и кольцевого магнита из кобальтового сплава, что уменьшило габариты магнитной цепи. К сожалению, из-за мелких несоответствий в размерах подвижные системы 2А-9 и 25ГДН-4 не взаимозаменяемы.

Рупор с линзой также не литой, а имеет детали, штампованные из листовой стали, которые затем сварены между собой.

Высокочастотная головка 5ГДВ-8 внешне и по внутреннему устройству весьма напоминает головку 1А-17, имея несколько меньшие габариты за счет магнита из кобальтового сплава. Однако диафрагма подвижной системы (рис. 100) и распределитель не подверглись той модернизации, которая была произведена в головке 1А-17, и по этой причине головка 5ГДВ-8 имеет верхнюю граничную частоту только 8 кГц вместо 12 кГц у 1А-17.

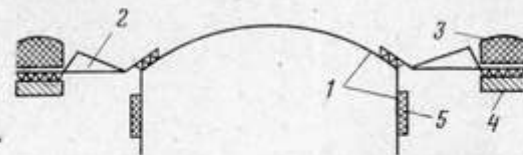
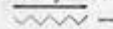


Рис. 100. Схема подвижной системы высокочастотной головки 5ГДВ-8:

1 — купол диафрагмы с каркасом звуковой катушки (дюралюминиевая фольга 0,06 мм); 2 — воронник с тангенциальным гофром (фольга); 3 — прижимное пластмассовое кольцо; 4 — установочное латунное кольцо; 5 — звуковая катушка;
 — склеенные поверхности

Краткое описание конструкций кинотеатральных двухполосных громкоговорителей, которые были перечислены выше, относится к комплектам аппаратуры, снимаемым в 1968 году с производства в связи с освоением нового ряда унифицированной звуковоспроизводящей аппаратуры серии «Звук» мощностью 25, 50 и 100 Вт в канале.

Как можно было уже заметить из описания, применительно к громкоговорителям некоторая унификация существовала, но мелкие недоработки приводили к положению, когда принципиально одинаковые головки, выпускаемые разными заводами, не были взаимозаменяемы.

В связи с этим обстоятельством для аппаратуры «Звук» были выбраны наиболее удачные решения из довольно богатого арсенала предыдущих разработок и главное внимание было уделено улучшению головок, а также такой унификации, при которой головка данного типа или ее подвижная система вне зависимости от завода-изготовителя были бы взаимозаменяемы. Точно так же жестко унифицированы посадочные размеры и методы крепления головок к их акустическим оформлением.

Двухполосные громкоговорители аппаратуры «Звук» применяются в комплектах, начиная с усилителей $4 \times 25 \text{ вт}$ и выше.

Громкоговорители типа 30А-68 представляют собой модификацию описанного уже громкоговорителя 30А-42 (см. рис. 98), в комплект которого добавлены новый разделительный 15-ом фильтр с частотой деления 1200 гц и 25 вт , трансформатор для включения громкоговорителя в линию напряжением 60 в^* . В настоящее время громкоговорители 30А-68 комплектуются низкочастотной головкой 2А-9 и высокочастотной 1А-17. Заключаются работы по существенной модернизации этих головок и, очевидно, с 1969—1970 гг. вместо 2А-9 и 1А-17 громкоговорители будут комплектоваться новыми головками (см. Приложение V).

Аппаратура «Звук 1×50 » — одноканальная мощностью 50 вт — комплектуется двумя громкоговорителями 30А-68.

Двухполосный громкоговоритель 30А-64 (рис. 101) предназначен для комплектования аппаратуры «Звук 4×50 ». Низкочастотный громкоговоритель представляет собой прямой экспоненциальный рупор на две головки

2А-9, встроенный в ящик, внутренний объем которого сообщается с окружающей средой двумя отверстиями, расположенными в плоскости выходного отверстия рупора. На низкочастотном громкоговорителе расположены два высокочастотных, каждый из которых представляет собой головку 1А-17, нагруженную на цилиндрический рупор. Монтажная опора высокочастотного громкоговорителя имеет приспособление, позволяющее изменять угол наклона оси рупора в вертикальной плоскости.

Цилиндрический рупор, как и рупор с рассеивающей линзой, обеспечивает постоянство характеристик направ-

* Выходные каскады аппаратуры «Звук» — широкополосные и работают по принципу трансляционных устройств, то есть обеспечивают на выходной линии постоянство напряжения номинальной величины 60 в . Для улучшения качественных показателей, в частности снижения искажений, частота деления повышена до 1200 гц .

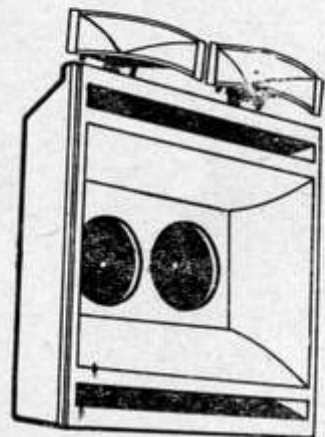


Рис. 101. Двухполосный громкоговоритель 30А-64

ленности с углом излучения в горизонтальной плоскости около 70° .

Громкоговоритель укомплектован 30-ом разделительным фильтром с $f_{\text{раз}} = 1200 \text{ гц}$ и 60-в согласующим трансформатором 50 вт .

Громкоговорители 30А-66 и 30А-62 (рис. 102 и 103) предназначены для комплектования шестиканальной стереофонической аппаратуры «Звук 6×50 » «Звук 6×100 ». Из приведенных рисунков видно, что громкоговоритель 30А-62 практически является удвоенной комплектацией громкоговорителя 30А-66.

Двухполосный громкоговоритель 30А-66 (рис. 102) состоит из низкочастотного

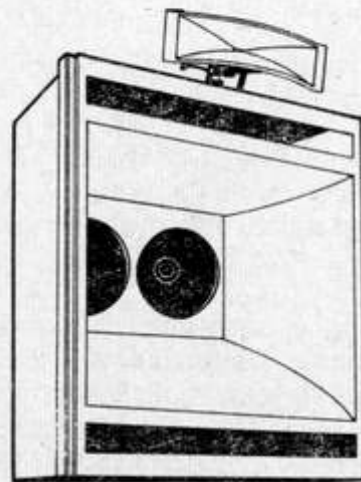


Рис. 102. Двухполосный громкоговоритель 30А-66

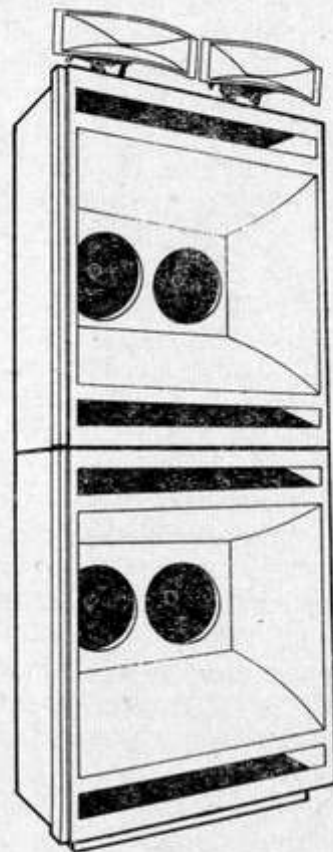


Рис. 103. Двухполосный громкоговоритель 30А-62

рупора с двумя головками 2А-11 в фазоинверсном ящике. Конструкция низкочастотного громкоговорителя та же, что и ранее описанная (30А-64).

Высокочастотный громкоговоритель состоит из цилиндрического рупора и двух головок 1А-16, работающих на него через V-образную горловину. Он укреплен на низкочастотном рупоре и имеет приспособление для изменения наклона своей оси. Громкоговоритель укомплектован со-

гласующим 50-вт трансформатором для включения в линию напряжением 60 в и 30-ом разделительным фильтром с $f_{раз} = 1200$ гц.

Сдвоенный комплект низкочастотных и высокочастотных громкоговорителей образует 100-вт громкоговоритель 30А-62. Из рис. 103 ясен принцип монтажа этого громкоговорителя — два низкочастотных рупора на две головки 2А-11 каждый, монтируются друг на друга, на верхнем из них смонтированы два высокочастотных рупора на две головки 1А-16 каждый. Громкоговоритель укомплектован 100-вт согласующим трансформатором и 15-ом разделительным фильтром с $f_{раз} = 1200$ гц.

Сравнивая между собой все 4 типа новых громкоговорителей, нетрудно заметить, что они имеют: только два типа низкочастотного акустического оформления (фазоинверсный ящик и прямой экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинверсный ящик), один тип высокочастотного акустического оформления (цилиндрический рупор), три типа согласующих трансформаторов (25, 50 и 100 вт), два типа разделительных фильтров с единой частотой разделения (15 и 30-ом), комплектуются двумя типами низкочастотных (2А-9 и 2А-11) и высокочастотных головок (1А-17 и 1А-16). Если сравнивать с ранее применявшейся линейкой кинотеатральных громкоговорителей, то станет очевидным наличие явного прогресса в проектировании громкоговорителей и появление дополнительных удобств обращения с ними в эксплуатации.

Так как почти все головки, примененные в громкоговорителях аппаратуры «Звук», нами были описаны ранее, то в заключение кратко опишем лишь новую низкочастотную головку.

Головка 2А-11 (рис. 104) была разработана для аппаратуры Кремлевского Дворца съездов и впоследствии вошла в состав низкочастотных громкоговорителей КЗТУ для киноконцертных залов. Головка 2А-11 имеет больших размеров диффузор с диаметром излучающей поверхности 366 мм и весом 55 г, звуковую катушку диаметром 79 мм и весом 25 г. Частота основного резонанса $25 \div 40$ гц и большие размеры излучателя обеспечивают эффективное излучение низких частот. Несмотря на большую массу подвижной системы, головка обеспечивает номинальный диапазон частот до 3 кгц, тогда как 2А-9 — только до 1 кгц. Магнитная цепь головки 2А-11 аналогична цепи головки 1А-16 и возбуждается керновым магнитом из кобальтового

сплава. Головка имеет массивный литой диффузордержатель.

Низкочастотная головка такого класса, как 2А-11, впервые введена в комплектацию серийной кинотеатральной аппаратуры, и полученный качественный выигрыш вполне оправдал некоторую большую стоимость ее в сравнении с 2А-9.

Мы уже указывали, что за прошедшее десятилетие в стране ведется проектирование и строительство залов вместимостью от 2000 до 6000 зрителей, сочетающих показ кинофильмов с концертной, а иногда и более сложной театральной программой. Опыт Кремлевского Дворца съез-

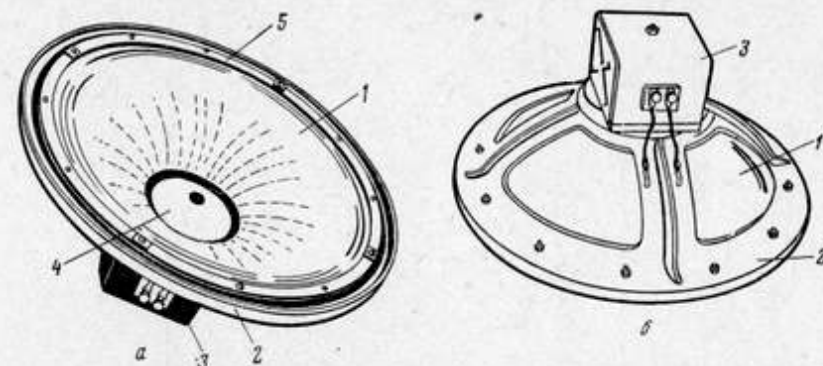


Рис. 104. Низкочастотная головка 2А-11:

а — вид спереди; б — вид сзади; 1 — диффузор, 2 — диффузордержатель, 3 — магнитная цепь, 4 — пылезащитный колпачок, 5 — прижимное кольцо

дов, этого уникального сооружения, а также киноконцертных залов в Ташкенте, Ленинграде, Свердловске и других городах показал жизненность таких сооружений.

Для обеспечения комплексной работы такого рода залов с наиболее высоким уровнем качества звукоусиления и звуковоспроизведения созданы два комплекта многоканальной стереофонической аппаратуры: КЗТУ-1 мощностью 400 вт в канале и КЗТУ-3 мощностью 200 вт в канале.

Так как такие залы из-за их объема и сложности решаемых задач проектируются индивидуально, а наибольшие трудности, естественно, возникают в размещении громкоговорителей и получении нужных характеристик направленности, то на основе опыта проектирования первой группы залов были созданы некоторые наборы конструкций. Таким образом, проектировщики в каждом индивидуальном случае из предлагаемого ассортимента громкоговорителей

могут выбрать тот комплект, который наиболее подходит к данному запроектированному залу.

Для столь сложной и дорогой аппаратуры, каковой являются комплекты КЗТУ, такой подход вполне оправдан, а так как изготовление ее ведется по

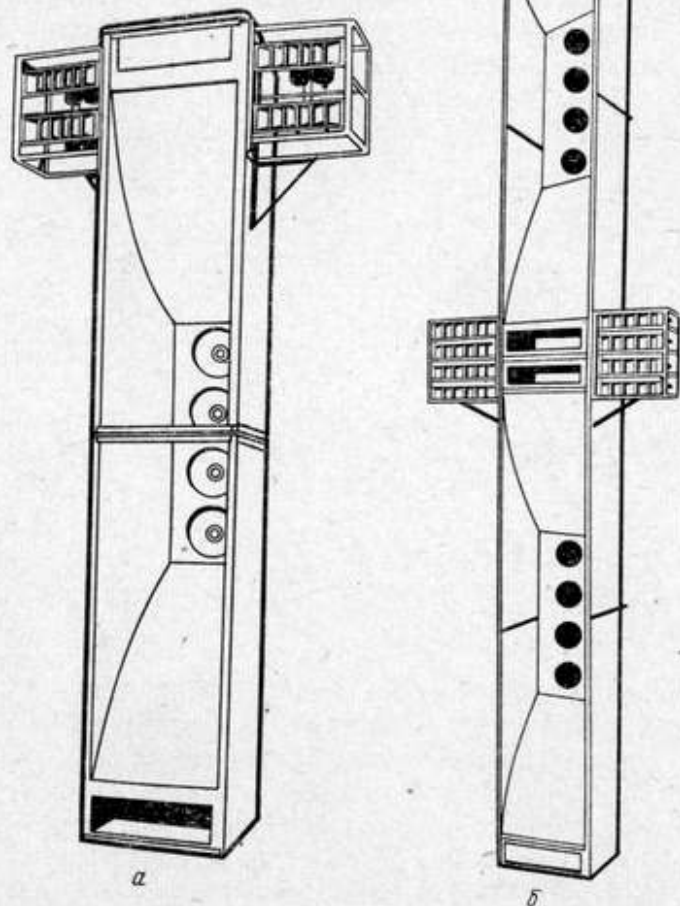


Рис. 105. Двухполосный громкоговоритель экранных комплектов аппаратуры КЗТУ:
а — 30А-17 комплекта КЗТУ-3; б — 2 × 30А-17 комплекта КЗТУ-1

индивидуальным заказам, то реализация указанных принципов практически выполнима.

Учитывая, что в практике работы эксплуатационников все чаще могут встретиться случаи, когда аппаратура КЗТУ попадет в поле их деятельности, мы считали целе-

сообразным ниже дать краткое описание конструкций громкоговорителей, в ней применяемых.

В аппаратуре КЗТУ различают три группы двухполосных громкоговорителей:

1) **э к р а н н ы е**, обеспечивающие пятиканальное стереофоническое звуковоспроизведение кинофильмов;

2) **п о р т а л ь н ы е**, обеспечивающие также пятиканальное стереофоническое звукоусиление концертной и иных программ со сцены;

3) **з а л ь н ы е** — для четырехканальной системы стереофонии и звуковых эффектов в зале (стены и потолок).

Двухполосные экранные громкоговорители 30А-17 (рис. 105) обычно монтируются в раму экрана или устанавливаются за ним, как и в обычном кинотеатре. Низкочастотный громкоговоритель представляет собой линейную группу из четырех головок 2А-11, нагруженную на прямой экспоненциальный рупор, встроенный в большого объема фазоинверсный ящик. Выходное отверстие рупора — сильно вытянутый прямоугольник с соотношением сторон 1 : 4,4. При таком соотношении низкочастотный рупор обеспечивает характеристики направленности, как и у звуковой колонны. Конструктивно рупор представляет собой металлический каркас (из двух половин, на рис. 105 хорошо видно место соединения половин конструкции), обшитый фанерной плитой толщиной 30 мм.

Высокочастотные громкоговорители, каждый из которых состоит из двух головок 1А-16, работающих через V-образную горловину на экспоненциальный рупор с линзой или цилиндрический рупор, расположены двумя симметричными группами в верхней части низкочастотного громкоговорителя.

Громкоговорителем 30А-17 комплектуется КЗТУ-3 (200 Вт в канале). Для него же может быть рекомендовано использование в качестве экранных громкоговорителей

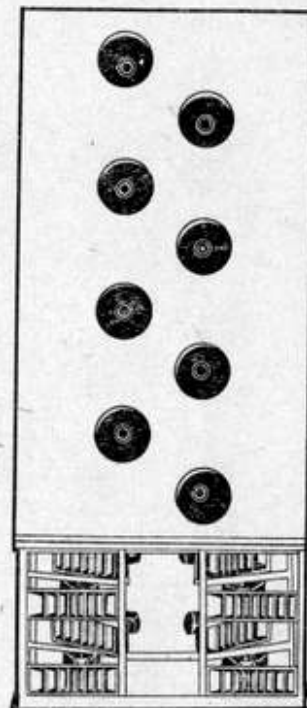


Рис. 106. Портальный двухполосный громкоговоритель 30А-18 комплекта КЗТУ-1

двойного комплекта громкоговорителей 30А-60, каждый из которых конструктивно и по своим данным соответствует громкоговорителю 30А-62 аппаратуры «Звук 6×100» (см. выше), но не имеет разделительного фильтра, и его согласующие трансформаторы рассчитаны на напряжение 120 в*.

Комплект КЗТУ-1 (400 вт в канале) в качестве экранных использует двойной комплект громкоговорителей 30А-17, их установка показана на рис. 105, б.

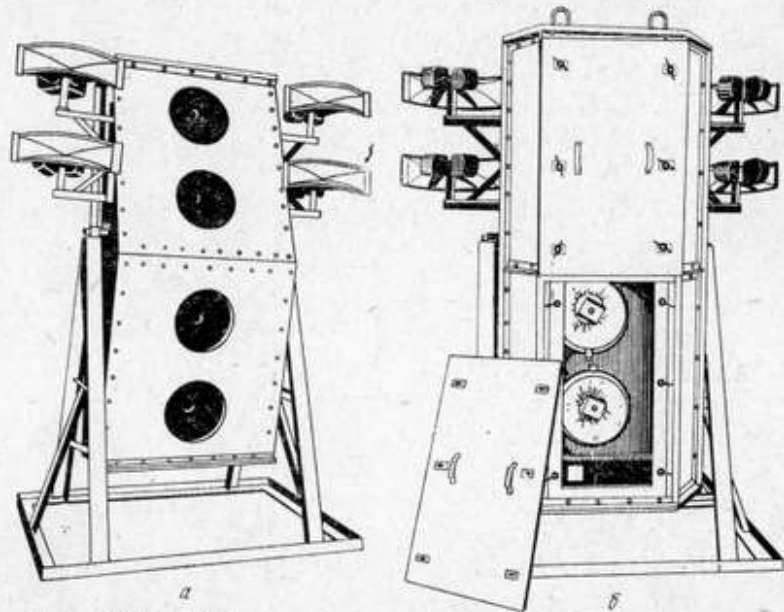


Рис. 107. Двухполосные порталные громкоговорители 30А-36 (а) и 30А-70 (б) комплекта КЗТУ-3

На рис. 106 показан порталный громкоговоритель 30А-18 комплекта КЗТУ-1, а на рис. 107 — порталные громкоговорители 30А-36 и 30А-70 комплекта КЗТУ-3. Низкочастотные громкоговорители представляют собой звуковые колонны с двумя (30А-18) или одной линейной группой из головок 2А-11. Угловое расположение двух передних панелей н.-ч. громкоговорителя 30А-36 необходимо для предельного сокращения вертикального угла излучения.

Высокочастотные громкоговорители также располагаются группами, место их расположения хорошо видно

* Так как аппаратура КЗТУ построена по двухполосной схеме усиления (разделительный фильтр на входе оконечных блоков) и имеет напряжение выхода 120 в, то все громкоговорители снабжены только согласующими трансформаторами (н.-ч. и в.-ч.).

из рис. 106 и 107. Каждый в.-ч. громкоговоритель снабжен устройством поворота в горизонтальной и наклонном в вертикальной плоскостях для точной юстировки по залу. В.-ч. громкоговоритель также состоит из двух головок 1А-16, нагруженных через V-образную горловину на экспоненциальный рупор.

Основные стенные громкоговорители 30А-19 (КЗТУ-1) и 30А-34 (КЗТУ-3) представляют собой сочетание низкочастотной звуковой колонны и группы высокочастотных громкоговорителей. Из рис. 108 хорошо виден принцип их устройства, а также следует, что громкоговоритель 30А-34 есть половина от 30А-19. Н.-ч. головки и в.-ч. громкоговорителя те же, что и в предыдущих типах. Принцип конструкции низкочастотного акустического оформления, как и в порталных, тот же, что и для 30А-17.

Так как в больших залах всегда будет один или два балкона, то на стенах в подбалконных пространствах в дополнение к основным стенным громкоговорителям комплектов КЗТУ размещают небольшого размера двухполосные громкоговорители 30А-20 (рис. 109). В закрытый ящик, заполненный поглотителем, вмонтированы головки 2А-11 и высокочастотный рупор с одной головкой 1А-16.

В канале потолка зала в комплектах КЗТУ-1 и КЗТУ-3 применяются двухполосные громкоговорители 30А-21 (рис. 110), представляющие собой фазоинверсный ящик с головкой 2А-11, в который вмонтирован рупорный высокочастотный громкоговоритель с двумя головками 1А-16.

Заканчивая описание двухполосных громкоговорителей, нельзя не упомянуть еще об одном случае их исполь-

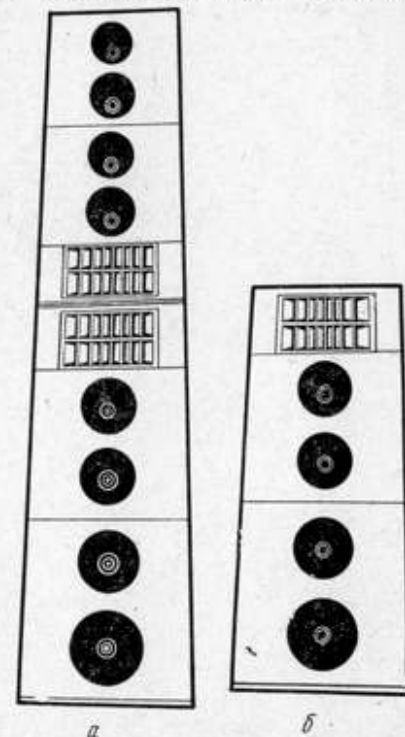


Рис. 108. Настенные двухполосные громкоговорители комплектов КЗТУ:

а — 30А-19 комплекта КЗТУ-1; б — 30А-34 комплекта КЗТУ-3

зования в профессиональных целях — звукофикации спектаклей драматических театров. Подобное использование кинотеатральной аппаратуры за последние пять лет находит

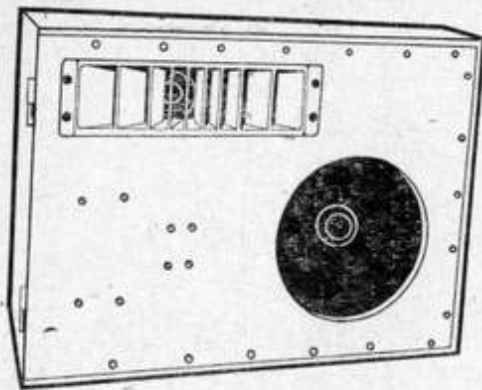


Рис. 109. Двухполосный громкоговоритель 30А-20 для подзвучивания подбалконных пространств

все более широкое применение как средство обогащения эмоционального воздействия спектакля. К указанному следует добавить все участвовавшие случаи использования звучащих диапозитивов и фрагментов кинофильмов или специальных киносюжетов в качестве дополнительных средств оформления постановок.

Для указанных целей была спроектирована и с 1963 — 1965 гг.

выпускается специальная аппаратура театрального звукоусиления. Учитывая основную задачу — звукофикацию существующих театральных залов, — а также экономические соображения, в состав этих комплектов вошли простейшего типа двухполосные громкоговорители 35ГД-3 и 37ГД-1 (рис. 111). Принципиально оба типа одинаковы и отличаются лишь небольшими конструктивными особенностями — громкоговоритель 37ГД-1 имеет приспособления, необходимые для удобства транспортировки.

Двухполосные громкоговорители 35ГД-3 и 37ГД-1 представляют собой закрытый ящик небольшого объема, заполненный поглотителем, в котором смонтированы низкочастотная головка 25ГДН-5 и две широкополосные головки 2ГД-19, выпускаемые

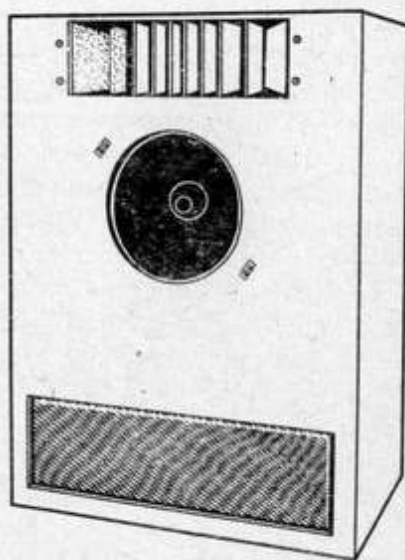


Рис. 110. Двухполосный потолочный громкоговоритель 30А-21 комплектов КЗТУ

радиопромышленностью. Головки 2ГД-19 включены к общим зажимам через емкость и работают как высокочастотные. Для защиты от паразитной модуляции со стороны н.-ч. головки они в ящике изолированы от общего объема специальными жесткими кожухами из пластмассы.

Для громкоговорителей 35ГД-3 и 37ГД-1 использован громкоговоритель эффективного канала 25ГДО-1 аппаратуры

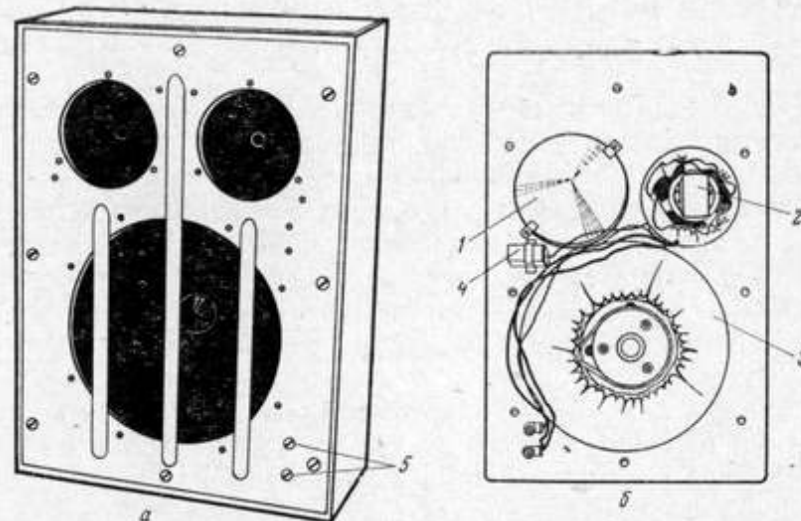


Рис. 111. Двухполосный громкоговоритель 35ГД-3 (37ГД-1 с ручкой на ящике):

а — вид спереди; б — вид сзади; 1 — защитный пластмассовый конус; 2 — головка 2ГД-19; 3 — головка 25ГДН-5; 4 — разделительная емкость; 5 — клеммы внешнего монтажа

25УЗС-1, в который установлены дополнительно две головки 2ГД-19 (до 1965 г. в нем использовалась головка 2ГД-7).

Вообще говоря, головка 25ГДН-5 ранее выпускалась под шифром 5ГДН-10 в качестве низкочастотной головки малогабаритного двухполосного громкоговорителя 10ГДД-1 комплекта звуковоспроизведения типа 10УДС-1. Впоследствии эта головка, после модернизации (короткозамкнутый виток на керне и увеличение верхней граничной частоты до 5000 гц), применялась в качестве широкополосной в канале эффектов стереофонического комплекта 25УЗС-1. Так как из всех низкочастотных головок она наименьшая по габаритам, а нижняя граничная частота в.ч. звена театрального громкоговорителя была выбрана 2 кГц, то исполь-

зование находящейся в номенклатуре Самаркандского завода «Кинап» головки 25ГДН-5 было вполне оправдано.

Головка 2ГД-19 имеет диаметр излучающей поверхности основного диффузора 110 мм и второй малый конус, возбуждаемый общей звуковой катушкой. Магнитная цепь — с кольцевым прессованным магнитом из феррит-бария 2БА (головка 2ГД-7 имеет все те же данные, только магнит кернового типа из кобальтового сплава ЮНДК-24). Головка 2ГД-19 излучает диапазон частот до 10 кГц, основной резонанс довольно высок — порядка 100 гц; максимальная мощность головки — 2 Вт.

Проделанный нами краткий обзор конструкций двухполосных громкоговорителей, применяемых в аппаратуре звуковоспроизведения кинофильмов и в универсальных комплектах, показывает характерную особенность, связанную, во-первых, с продолжением практически оправдавшей себя линии на законченное конструктивное оформление каждого звена, в результате чего каждый из них является самостоятельно работающим узкополосным громкоговорителем.

Во-вторых, в новой аппаратуре продолжена линия унификации основных элементов громкоговорителей и расширение ряда достигнуто лишь изменением комбинации небольшого числа основных модулей.

Наконец, в-третьих, жесткие требования к качеству и запасу надежности позволили расширить область применения кинотеатральных громкоговорителей и вполне удовлетворительно решить наиболее сложную задачу — звукоусиление естественных источников звучания.

§ 7. Основные данные промышленной аппаратуры

Промышленный выпуск кинотеатральных громкоговорителей характеризуется несколькими этапами. Так, с 1948 г. было начато производство двухполосных громкоговорителей, которые в течение последующего пятилетия стали основным видом продукции, изготавливаемой для профессиональной стационарной аппаратуры.

Период с 1958 по 1968 г. характерен совершенствованием выпускаемых моделей, полного внедрения высококачественных постоянных магнитов, сокращения типов громкоговорителей и расширением сферы их применения.

Наконец, с 1968 г. происходит полная смена моделей и реализуется крайне важная для эксплуатации идея унификации ряда выпускаемых громкоговорителей.

Поскольку второй этап производства завершен, а третий только начинает практическую реализацию, нам ка-

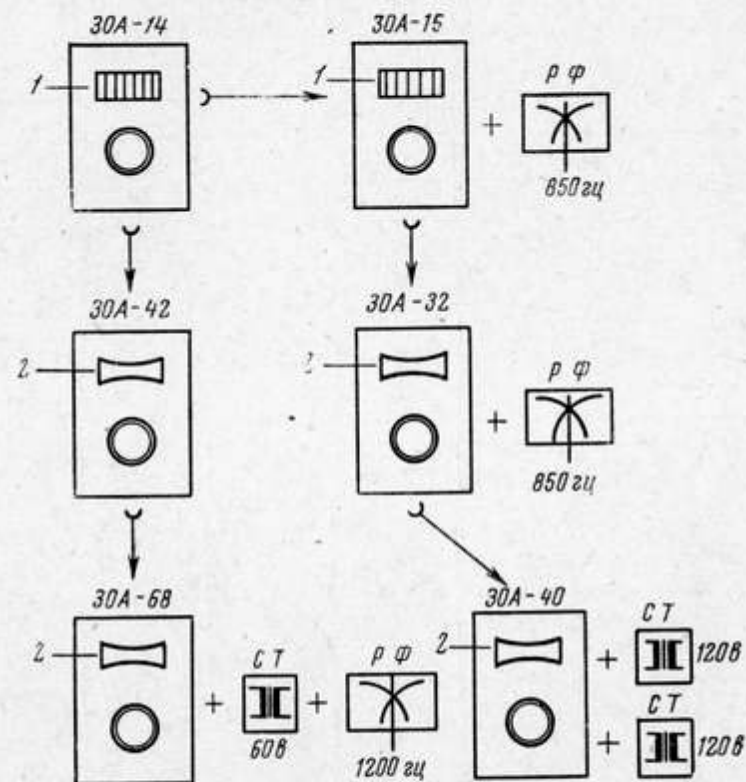


Рис. 112. Схема изменений двухполосных громкоговорителей для малых кинотеатров:

1 — в.-ч. рупор с линзой; 2 — в.-ч. рупор цилиндрического фронта волны; СТ — согласующий трансформатор; РФ — разделительный фильтр

залось целесообразным дать в прилагаемых таблицах сумму основных сведений как по выпущенным двухполосным громкоговорителям, так и по новому ряду.

Для удобства пользования в табл. 4 приведены сведения только о двухполосных громкоговорителях, выпускавшихся промышленностью с 1958 г., и нового ряда «Звук», предназначенных для комплектации аппаратуры звуковоспроизведения в стационарных кинотеатрах профессионального показа.

Кинотеатральные двух

Основные данные	Тип			
	30А-13	30А-14	30А-15	30А-30
Тип головок громкоговорителя	2А-9			
	1А-16			1А-17
Максимальная мощность головки, <i>вт</i>	25			
	12		12	
Количество головок в громкоговорителе	4	1		2
	4	1		2
Максимальная мощность громкоговорителя, <i>вт</i>	100	25		50
	48	12		24
Тип комплекта звуковоспроизведения	КЗВТ-10	КУСУ-52С	КЗВС-3	
Назначение громкоговорителя в комплекте	Экранный	Зальный, фойе	Экранный	
Количество громкоговорителей в комплекте	5	30	2	3
Номинальный диапазон частот ² , <i>гц</i>	40 ÷ ÷ 12 000	60 ÷ 12 000		50 ÷ ÷ 12 000
Частота разделения, <i>гц</i>	550		850	900
Номинальное сопротивление, <i>ом</i>	15		30	
Номинальное напряжение, <i>в</i>	—			
Год освоения серийного производства	1959	1960	1958	1962

¹ Новые типы, заменившие 30А-14 и 30А-15 в тех же комплектах

² Для громкоговорителей комплектов «Звук» неравномерность частотной характеристики в номинальном диапазоне частот составляет 12 дБ, для всех остальных типов — 16 дБ.

³ н.-ч. — низкочастотный; в.-ч. — высокочастотный.

полосные громкоговорители

громкоговорителя

30А-32 ¹	30А-42 ¹	30А-62	30А-64	30А-66	30А-68	25ГДД-1	
		2А-11	2А-9	2А-11	2А-9	25ГДН-4	
		1А-16	1А-17	1А-16	1А-17	5ГДВ-8	
25	25	25	25	25	25	25	
12	12	12	12	12	12	12	
1	4	2		1		1	
1	4	2		1		1	
25	100	50	50	25	25	25	
12	48	24	24	12	12	12	
КУСУ-52С	КЗВТ-10	«Звук»				25УЗС-1	
		6×100	4×50	6×50	1×50		
	Зальный; фойе	Экранный				Экранный	
2	30	5	3	5	2	3	3
55 ÷ ÷ 12 000	60 ÷ ÷ 12 000	40 ÷ ÷ 14 000	50 ÷ ÷ 12 000	40 ÷ ÷ 14 000	55 ÷ 12 000		60 ÷ 8000
850	550	1200				800	
15		—				15	
—		60				—	
1964	1966	1967				1957	

тах звуковоспроизведения. точной характеристики в номинальном диапазоне частот составляет

Основные данные	Тип			
	30А-13	30А-14	30А-15	30А-30
Изготовитель	ЛОМО			

В табл. 5 выделены двухполосные громкоговорители универсальных комплектов КЗТУ для киноконцертных залов и залов многоцелевого назначения вместимостью от 2000 до 6000 зрителей, а также аппаратуры звукофикации театров.

Если внимательно проанализировать содержание этих двух таблиц, то станет очевидным факт неуклонного соблю-

Двухполосные громкоговорители зву

Основные данные	Тип гром					
	30А-17	30А-18	30А-19	30А-20	30А-21	
Тип головок громкоговорителя	н.-ч.	2А-11				
	в.-ч.	1А-16				
Максимальная мощность головки, <i>вт</i>	н.-ч.	25				
	в.-ч.	12				
Количество головок в громкоговорителе	н.-ч.	4	8	8	1	1
	в.-ч.	8	16	8	1	2
Максимальная мощность громкоговорителя, <i>вт</i>	н.-ч.	100	200	200	25	25
	в.-ч.	96	192	96	12	24

громкоговорителя						
30А-32	30А-42	30А-52	30А-64	30А-66	30А-68	25ГДД-1
ЛОМО					ЛОМО, Самарканд. з-д «Кинап»	Самарканд. з-д «Кинап»

дения основного принципа проектирования кинотеатральных громкоговорителей: минимум типов используемых головок и максимум в использовании готовых конструкций в целом или в основных элементах.

Поэтому, на первый взгляд, большое количество типов громкоговорителей на деле сводится к мелкой модификации небольшого числа основных типов или комбинации

Таблица 5

коусиления и звуковоспроизведения

коговорителя						
30А-34	30А-36	30А-40	30А-60	30А-70	35ГД-3	37ГД-1
		2А-9	2А-11		25ГДН-5	
		1А-17	1А-16		2ГД-19 ^а	
					15	
					2	
4	4	1	4	4	1	
4	8	1	4	8	2	
100	100	25	100	100	15	
48	96	12	48	96	4	

Основные данные	Тип гром				
	30А-17	30А-18	30А-19	30А-20	30А-21
Тип комплекта аппаратуры	КЗТУ-1 ¹ ;				
Назначение громкоговорителей в комплекте	Экран-ный	Порталь-ный	Заль		
			настенный	потолоч-ный	
Количество громкоговорителей в комплекте	10 ³ ; 5	5	8	36 ³ ; 15	20
Номинальный ⁴ диапазон частот, гц	30 ÷ ÷ 12 000	40 ÷ ÷ 12 000	45 ÷ ÷ 12 000	60 ÷ ÷ 12 000	50 ÷ ÷ 12 000
Частота разделения, гц	800				
Номинальное сопротивление, ом	—				
Номинальное напряжение, в	120				
Год освоения серийного производства	1961				
Изготовитель	ЛОМО				

¹ КЗТУ — комплекты звукофикации киноконцертных и многоце

² КЗТ и КЗТП — комплекты звукофикации драматических теат

³ Для комплекта КЗТУ-1. Типы громкоговорителей и их коли

⁴ Для неравномерности частотной характеристики 16 дб.

⁵ До 1965 г. применялась в качестве в.-ч. головка 2ГД-7.

основных, ранее использовавшихся элементов с целью удовлетворения особенностей данного комплекта аппаратуры или условий эксплуатации. Для пояснения сказанного приведем несколько условных схем.

Схема на рис. 112 показывает изменения, происходившие с наиболее массовым двухполосным громкоговорителем,

коговорителя						
30А-34	30А-36	30А-40	30А-60	30А-70	35ГД-3	37ГД-1
КЗТУ-3 ¹			КЗТУ-1	КЗТУ-3	35КЗТ-1 ²	37КЗТП-1 ²
настен-ный	Порталь-ный	Конт-роль-ный	Экран-ный	Порталь-ный	Порталь-ный; зальный	Заль-ный
10	5	2	10	5	75	8
45 ÷ ÷ 12 000	40 ÷ ÷ 12 000	60 ÷ ÷ 12 000	50 ÷ ÷ 12 000	40 ÷ ÷ 12 000	70 ÷ 12 000	
					2000	
					12	
					—	
			1964	1967	1963	1965
ЛОМО					Самарканд. з-д «Кинап»	

левых залов вместимостью от 2000 до 6000 зрителей. ров («П» — передвижной). чество уточняются при проектировании зала.

у которого низкочастотный громкоговоритель не менялся, а все остальные элементы не вносили принципиально новых различий.

Аналогичная схема для двухполосных громкоговорителей крупных и средних залов приведена на рис. 113.

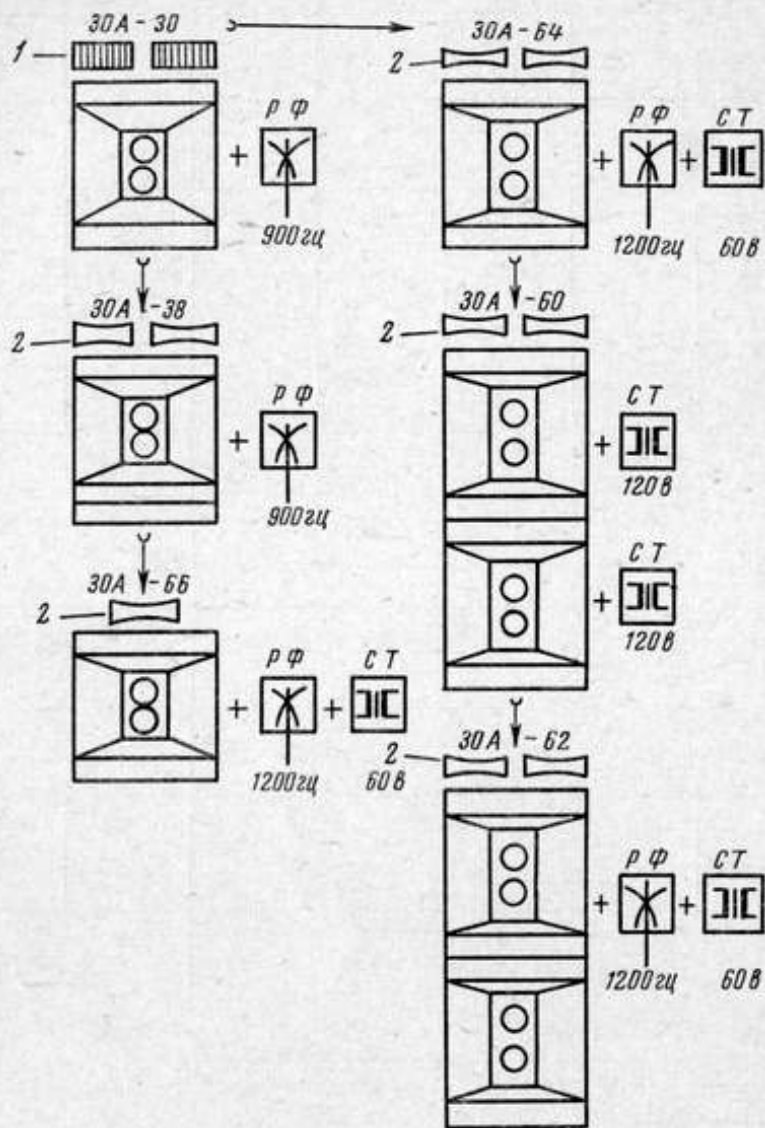


Рис. 113. Схема изменений двухполосных громкоговорителей для средних и крупных кинотеатров:

1 — в.-ч. рупор с линзой; 2 — в.-ч. рупор цилиндрического фронта волны; с т — согласующий трансформатор; p φ — разделительный фильтр

В заключение упомянем, что кинотеатральные двухполосные громкоговорители используются в каналах контроля аппаратуры записи и перезаписи фонограмм на киностудиях (табл. 6), а именно: громкоговоритель 30А-32 используется в комплектах КЗМ-8, КЗМ-10; КЗМ-11, КЗМ-15; КМП-8; КМП-9; КПЗ-16; КПЗ-18 и КПЗ-20 (в комплектах, выпускавшихся до 1967 г., для тех же целей использовался громкоговоритель 30А-15). Кроме того, в комплекте КПЗ-15 в качестве экранного громкоговорителя применяется двухполосный громкоговоритель 30А-38, являющийся прототипом громкоговорителя 30А-66, но имеющий вместо согласующего трансформатора и разделительного фильтра на 1200 гц только разделительный фильтр на 900 гц.

Ряд дополнительных сведений по электрическим, электроакустическим и конструктивным данным двухполосных громкоговорителей будет приведен ниже.

Таблица 6

Двухполосные громкоговорители студийной аппаратуры

Основные данные		Тип громкоговорителя		
		30А-32	30А-38	
Тип головок громкоговорителя	н.-ч.	2А-9	2А-11	
	в.-ч.	1А-17	1А-16	
Максимальная мощность головки, вт	н.-ч.	25		
	в.-ч.	12		
Количество головок в громкоговорителе	н.-ч.	1	2	
	в.-ч.	1	4	
Максимальная мощность громкоговорителя, вт	н.-ч.	25	50	
	в.-ч.	12	48	
Тип комплекта аппаратуры	КЗМ-15; КПЗ-18	КЗМ-8, 10, 11; КМП-8,9; КПЗ-20	КПЗ-16	КПЗ-15
Назначение громкоговорителей в комплекте	Экранный			

Основные данные	Тип громкоговорителя	
	30А-32	30А-38
Количество громкоговорителей в комплекте	2	3
Номинальный ¹ диапазон частот, гц	55 ÷ 12 000	50 ÷ 12 000
Частота разделения, гц	850	900
Номинальное сопротивление, ом	15	30
Номинальное напряжение, в	—	
Год освоения серийного производства	1964	
Изготовитель	ЛОМО	

¹ Для неравномерности частотной характеристики 16 дб.

5

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Все кинотеатральные громкоговорители, как и вообще вся кинотеатральная аппаратура, по условиям эксплуатации могут быть разделены на две группы:

1. Громкоговорители стационарные. Характерным для них является работа в одном и том же помещении, обычно в зале кинотеатра, и в одинаковых условиях, в частности при относительно малых колебаниях температуры и влажности воздуха, что особенно важно для громкоговорителя.

2. Громкоговорители передвижные. Работают они чаще всего в случайных помещениях, причем значительный процент из общего времени нахождения в эксплуатации передвижных громкоговорителей падает на перевозки из одного места установки в другое. Поэтому передвижные громкоговорители подвержены в значительной степени воздействию атмосферных условий и тряске.

Таким образом, разные условия работы этих двух групп громкоговорителей вызывают различные правила эксплуатации, соблюдение которых обеспечивает длительную без-

аварийную работу громкоговорителя при максимальном использовании его качественных показателей.

Конечно, время вносит свои коррективы. Так, если в первое послевоенное десятилетие передвижная киноаппаратура составляла очень большой объем в общем хозяйстве кинофикации, то в последующие годы неуклонно возрастала первая группа. Более того, значительное количество киноаппаратуры передвижной по назначению стационарировалось, то есть закреплялось для работы в одном и том же помещении. Поэтому в настоящее время группа стационарной и стационарированной аппаратуры существенно преобладает над передвижной. Однако особенности нашей страны и неуклонный курс на кинообслуживание во всех случаях (полевые станы, отгонные пастбища, Дальний Север и т. п.) делают и вторую группу аппаратуры необходимой и немалой по количеству.

Рассмотрим эти правила применительно к каждой из указанных групп.

§ 1. Стационарные громкоговорители

Весь период работы громкоговорителя, от момента его установки до момента снятия для ремонта или замены более совершенным типом, можно разделить на два этапа: установка и эксплуатация.

Правильная установка стационарных громкоговорителей является основным условием для обеспечения качественной работы всего комплекта аппаратуры при ее дальнейшей эксплуатации.

Проверка громкоговорителей

До установки громкоговорителей необходимо произвести их проверку, так как небрежная упаковка и транспортировка могли вызвать повреждения. Проверка заключается во внешнем осмотре головок и того оформления, в котором они размещены (ящик, фазоинвертор, рупор и т. п.). Если громкоговоритель транспортируется вместе с установленной в нем головкой, внешнему осмотру подвергают громкоговоритель в целом.

После вскрытия упакованных громкоговорителей и головок необходимо внимательно их осмотреть и установить:

1) отсутствие повреждений в оформлении громкоговорителей: трещины, расслоение фанеры стенок, разошедшиеся соединения конструкции, прочность декоративных накладок и т. п.;

2) целость и состояние клемм для подключения внешнего монтажа;

3) целость декоративной материи, закрывающей головку громкоговорителя (на это надо обращать особое внимание, если доступ для осмотра головки затруднен);

4) состояние головок громкоговорителя: не расцентрирована ли подвижная система, нет ли повреждений диффузора или диафрагмы и т. д. Следует обратить внимание не только на явные повреждения, но и на качество подвижных систем, в частности на отсутствие вмятин, трещин и наплывов на диффузоре;

5) отсутствие в зазоре магнитной системы опилок, стружек и прочего мусора;

6) отсутствие коррозированных деталей.

Плохо прикрепленные детали оформления, расслоение фанеры и т. п. не всегда могут быть обнаружены простым осмотром. В то же время эти недостатки часто являются причиной возникновения дребезжаний при работе громкоговорителя, воспринимаемых как искажения при звуковоспроизведении.

Скрытые дефекты обнаруживаются при простукивании деревянного оформления легкими отрывистыми ударами кулака. Слышимое при этом дребезжание укажет на неисправности; при повторном простукивании уточняют, какая деталь является причиной этого. Устранение замеченных недостатков следует производить до установки громкоговорителя в зале.

При обнаружении дефекта деревянные части конструкции оформления проклеивают столярным или казеиновым клеем и, если необходимо, стягивают их шурупами или болтами. Если оформление сварное металлическое (например, высокочастотный рупор), то разошедшийся шов или соединение спаивают или сваривают. Мелкая трещина или раковина в литом рупоре может быть после очистки от краски зашпаклевана нитрошпаклевкой и покрашена.

При осмотре клемм, к которым крепятся провода внешних линий, необходимо обращать внимание, не попала ли на контактные поверхности нитрокраска. Краску смывают растворителем, в который обычно входят $\frac{2}{3}$ ацетона и

$\frac{1}{3}$ амилацетата, или в крайнем случае осторожно соскабливают. Краска на токопроводящих поверхностях может резко увеличить переходное сопротивление контакта и качество звуковоспроизведения сильно ухудшится из-за нарушения согласования между усилителем и громкоговорителем.

Особенно тщательно проверяется состояние контактов в нулевых, то есть общих клеммах двухполосного громкоговорителя. При плохом контакте в нулевом проводе н.-ч. и в.-ч. громкоговорители оказываются включенными последовательно на широкую полосу, что вызывает сильные искажения и может привести к выходу из строя высокочастотных головок.

При проверке головок необходимо осторожно обращаться с ними, так как можно легко повредить подвижную систему. Поэтому проверка должна производиться только квалифицированным работником, лучше всего мастером киноремонтной мастерской.

Расцентрирование подвижной системы головки и чистота зазора магнитной системы проверяются на слух при смещении подвижной системы рукой, так как за исключением высокочастотных рупорных головок зазор обычно закрыт от прямого наблюдения пылезащитным колпачком, вклеенным в вершину диффузора.

Смещение диффузора производится одновременным и периодическим нажатием на него обеих рук проверяющего. При этом руки должны быть расположены точно по диаметру диффузора, а три-четыре пальца располагаются на внешней поверхности диффузора, ближе к воротнику, то есть гофрированному плоскому кольцу в его основании. Амплитуда смещения не должна превышать 1,5—2 мм.

Смещение диафрагмы высокочастотной головки достигается одновременным нажатием четырех пальцев правой руки (большим, указательным, безымянным, средним), расположенных по краю купола диафрагмы. Нажатие должно быть равномерным и небольшим, чтобы амплитуда смещения не превышала 0,5 мм. В противном случае купол диафрагмы, толщина которого 0,06 мм, может быть продавлен, и головка тем самым повреждена.

Расцентрирование головки вызывает хорошо слышимый шорох, длящийся все время, пока подвижная система находится в движении. Наличие в зазоре мусора, в частности опилок, вызывает прерывистый шорох, потрескивание и царапанье.

Все обнаруженные недостатки должны быть занесены в дефектную ведомость, прилагаемую к рекламации. Эти сведения помогают заводу-изготовителю вести борьбу за качество продукции, устранять дефекты сборки и упаковки. Мелкие недостатки могут быть устранены на месте, средние — в киноремонтных мастерских, а при крупных — аппаратура должна быть заменена заводом-изготовителем.

Следует особо подчеркнуть, что в настоящее время в рамках новой системы экономического планирования и стимулирования промышленности роль рекламации, как средства борьбы за высокое качество продукции, очень сильно возросла. Более того, в конце 1967 г. Постановление Совета Министров СССР определило, что при наличии рекламации завод-поставщик не только обязан бесплатно заменить неисправную аппаратуру, но и возместить заказчику все убытки, понесенные от момента получения аппаратуры до замены на кондиционную.

В заключение заметим, что общую проверку громкоговорителя лучше всего производить прослушиванием воспроизведения им плавно скользящего тона всего диапазона звуковых частот на номинальной мощности. Такая проверка обязательна также для головок до общей проверки комплекта, внешний осмотр подвижных систем которых обнаружил в нем мелкие вмятины, наплывы и т. д. Если прослушивание головки не зафиксировало появления дополнительных призвуков и дребезжания, такая система может быть оставлена на головке.

Установка громкоговорителей

Правильная установка громкоговорителей гарантирует надежность работы и максимальное использование присущих данному типу громкоговорителей качественных показателей. Установка громкоговорителей в зале кинотеатра начинается с электромонтажных работ и заканчивается их декоративным оформлением, если последние не маскируются экраном или деталями стен зала.

Электромонтажные работы, связанные с прокладкой линий от усилительного устройства, расположенного в аппаратной, к громкоговорителям, находящимся у экрана или за ним, проводятся на основании действующих норм и правил. Основные требования следующие:

1) малое в сравнении с нагрузкой, то есть с входным сопротивлением громкоговорителей, сопротивление звуковых

линий. Это необходимо для исключения потерь звуковой мощности и для обеспечения согласования выхода усилителя и нагрузки;

2) электрическая и механическая надежность всех переходных контактов.

Звуковые линии, идущие из аппаратной, должны оканчиваться распределительным щитком, к которому и подключаются громкоговорители. Щиток изготавливается из изолирующего материала хорошего качества: гетинакс, текстолит и т. п.; контактные болты, гайки и шайбы должны быть латунными при диаметре болта не меньше 4 мм.

Для удобства эксплуатации щиток маркируется, а соединительные провода к громкоговорителям должны находиться в общем шланге или быть зажгутованы. Разделку и маркировку проводов надо особенно тщательно провести при установке двухполосных громкоговорителей, где число линий и соединений резко возрастает.

Концы всех проводов должны быть облужены, лучше на них иметь наконечники. Особое внимание должно быть обращено на нулевой провод, сечение которого всегда лучше брать выше, чем у остальных проводов.

Необходимые данные для подбора сечения проводов линий приведены в таблицах промышленной аппаратуры.

Размещение громкоговорителей около экрана определяется типом последнего. Громкоговорители размещаются за экраном, по его центральной оси, если экран звукопроницаемый, то есть на полотне экрана нанесены перфорации в виде мелких круглых дырочек. Такие экраны создают более благоприятные условия звуковоспроизведения в зале кинотеатра по всей его площади.

Однако их изготовление требует сложного оборудования и специальных материалов, вследствие чего производство таких экранов в настоящее время еще не развернуто в должном количестве. Поэтому такими экранами в обязательном порядке снабжаются только все стереофонические киноустановки, а обычные — пока в ограниченном количестве.

Если экран звукопроницаемый, то громкоговорители размещаются у его боковых сторон, для чего стационарные киноустановки комплектуются двумя громкоговорителями.

Расположение громкоговорителей должно в условиях данного зала обеспечить: 1) равномерное распределение звуковой энергии по всей площади зрительских мест; 2) значительное преобладание прямой звуковой энергии, пришедшей

непосредственно от громкоговорителей, над отраженной; 3) слитность зрительного и слухового восприятия, то есть для зрителя звук должен ощущаться идущим только от экрана, а источник звучания — совпадать с его изображением.

Практика показала, что для удовлетворения этих условий громкоговорители должны находиться в плоскости экрана на такой высоте, чтобы их акустические центры располагались в пределах от $1/3$ до $2/3$ высоты экрана. Под акустическим центром широкополосного громкоговорителя понимается, с достаточным для практики приближением, геометрический центр отверстия в ящике, через которое работает головка прямого излучения, а для двухполосного — геометрический центр выходного отверстия высокочастотного рупора. При более сложном случае (два или более в.-ч. рупоров) акустический центр определяется как средняя точка относительно акустических центров рупоров.

Помимо правильного положения громкоговорителей по высоте должны быть установлены углы поворота (горизонтальный) и наклона (вертикальный) в соответствии с особенностями расположения зрительских мест в зале.

Дать рекомендации, точно указывающие углы наклона и поворота, трудно, так как в каждом конкретном случае вопрос сочетания характеристики направленности громкоговорителя и особенностей конфигурации зала должен быть решен применительно к создавшимся условиям.

При нормальных соотношениях ширины, длины и высоты зала и отсутствии акустических дефектов хорошие результаты получаются, если наклон громкоговорителей таков, что продолжение его акустической оси* приходится примерно на вторую половину средних рядов зала, что составляет примерно $1/2$ — $2/3$ длины партера.

В этом случае громкоговорители должны быть развернуты по отношению один к другому на такой угол, чтобы акустические оси их сходились в центре зала (рис. 114). Повторяем, что эта рекомендация нуждается в уточнениях в соответствии с местными условиями.

При выборе правильной установки громкоговорителей необходимо добиваться следующих результатов:

* Акустической осью громкоговорителя называется ось симметрии излучающей поверхности громкоговорителя. Для однополосных громкоговорителей она чаще всего совпадает с его геометрической осью; для двухполосных — с осью высокочастотного громкоговорителя.

1) при перемещении по зрительному залу вдоль среднего прохода от первого до последнего ряда не должно наблюдаться изменения уровня воспроизводимого громкоговорителем звука, в частности тембр звучания должен сохраняться неизменным;

2) при перемещении по ширине зала, которое следует начинать со средних мест партера, проверяющий не должен различать, с какой из боковых сторон экрана слышен звук; ощущение расположения громкоговорителей в центре экрана свидетельствует о правильном их положении.

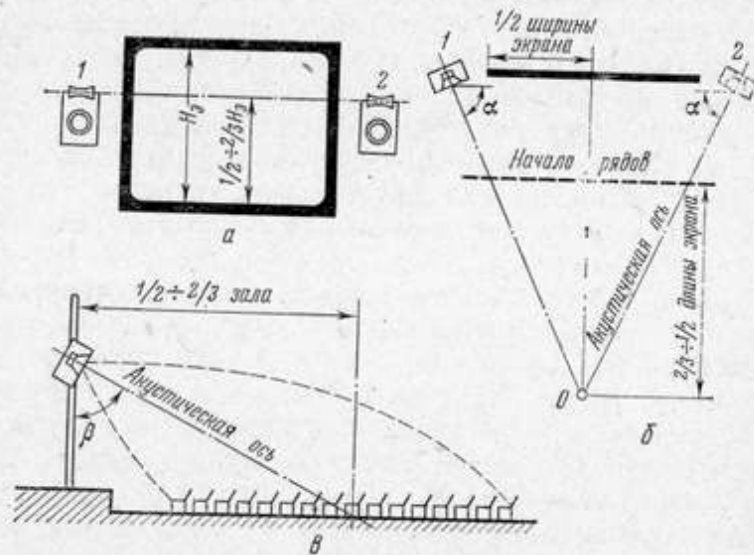


Рис. 114. Схема расположения громкоговорителей по бокам экрана:

a — подъем от пола; *b* — горизонтальный наклон (α); β — вертикальный наклон (β)

В случае нарушения этого впечатления (слышна работа левого или правого громкоговорителя) угол поворота должен быть изменен.

Так, если положение наблюдателя и слышимое им направление источника звука совпадают (например, наблюдатель находится в левой стороне зала и слышит работу только левого громкоговорителя), то громкоговоритель надо разворачивать в направлении экрана.

Если место наблюдения и направление источника звука противоположны, то это свидетельствует о слишком большом повороте громкоговорителей, и они должны быть развернуты в обратную сторону.

Выбор правильного расположения громкоговорителей производится при воспроизведении ими фонограмм хорошего качества и разнообразного содержания: оркестр, оркестр с хором или солистом, речь и т. п. Для облегчения работы надо организовать таким образом, чтобы производящий проверку мог, не сходя с места, руководить изменением углов наклона и поворота громкоговорителей.

В практике могут быть отступления от указанных приемов. В каждом отдельном случае вопрос должен быть решен так, чтобы получить наилучшее звучание для всех мест зала.

Например, в очень длинном, узком и высоком зале с сильно выдающимися вперед балконами, простирающимися до половины длины партера, приходится один из громкоговорителей направлять главным образом на партер, а второй — на балкон. В этом случае неизбежно появление эффекта локализации, то есть установления места работы громкоговорителей, но зато будет обеспечено одинаковое качество звуковоспроизведения в партере и на балконе, что более важно.

Однако такое решение не является наилучшим. Более правильной была бы установка двойного комплекта громкоговорителей, одна пара которых была бы направлена только на партер, а другая — на балкон. В громкоговорителях 30А-13 или 30А-62, например, для данного случая необходимо одно в.-ч. звено ориентировать на партер, а второе — на балкон.

При установке широкополосных громкоговорителей прямого излучения, например, или двухполосных с фиксированным положением высокочастотного громкоговорителя (30А-15, 30А-32, 25ГДД-1) нужные углы получают поворотом и наклоном всего громкоговорителя. Для мощных двухполосных громкоговорителей (30А-13, 30А-62, 30А-66) нужный горизонтальный угол получают поворотом всего громкоговорителя, а вертикальный угол — только накло-

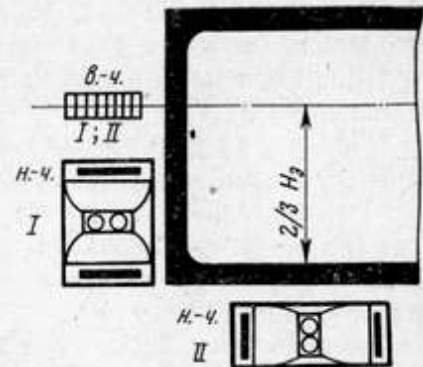


Рис. 115. Неправильное размещение звеньев двухполосного громкоговорителя

ном высокочастотного громкоговорителя с помощью имеющегося у него приспособления.

В двухполосных громкоговорителях нельзя раздельно помещать высокочастотный и низкочастотный громкоговорители (рис. 115), стремясь выполнить рекомендацию о высоте центра излучения. В этом случае резко ухудшается качество звуковоспроизведения вследствие частотных искажений в полосе совместной работы и появления эффекта раздельности звучания низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей.

Однако могут встретиться случаи, когда невозможно установить громкоговорители по бокам экрана. Чаще всего это может быть при установке двухполосных громкоговорителей, габариты которых значительно превышают габариты однополосных.

При таком затруднении следует руководствоваться рекомендациями, приведенными ниже:

1) экран расположен высоко и расстояние от пола до экрана больше максимального размера громкоговорителя. В этом случае громкоговорители размещаются под экраном в нормальном положении один рядом с другим по центральной оси экрана. Надо обращать внимание, чтобы верхняя часть громкоговорителя не срезала нижнюю часть проецируемого на экран кадра для зрителей, сидящих в первых рядах партера;

2) высота до нижнего края экрана не позволяет поместить громкоговоритель в нормальном положении. В этом случае громкоговорители можно поставить боком (рядом или один на другой). Обязательным является перенесение высокочастотного громкоговорителя на верх низкочастотного, считая верхом действительное положение соответствующей стенки ящика по отношению к полу.

Если низкочастотные громкоговорители поставлены один на другой, то оба высокочастотных громкоговорителя устанавливаются рядом на верхней стенке верхнего низкочастотного громкоговорителя;

3) громкоговорители неудобно ставить около экрана, так как сцена используется для других целей. Если экран поднимается вверх на кулисы, то громкоговорители можно ставить на боковые площадки авансцены при соблюдении двух условий:

а) ширина сцены такова, что при опущенном экране просвет между громкоговорителем и краем экрана не превышает ширину громкоговорителя;

б) экран подвешен так, что громкоговорители оказываются выдвинутыми вперед от экрана на расстоянии не более чем глубина громкоговорителя.

Во всех остальных случаях громкоговорители необходимо устанавливать обычным образом, предусматривая возможность легкой съемки их и установки обратно. Для этого громкоговорители надо включать через надежные разъемы, например типа ШР.

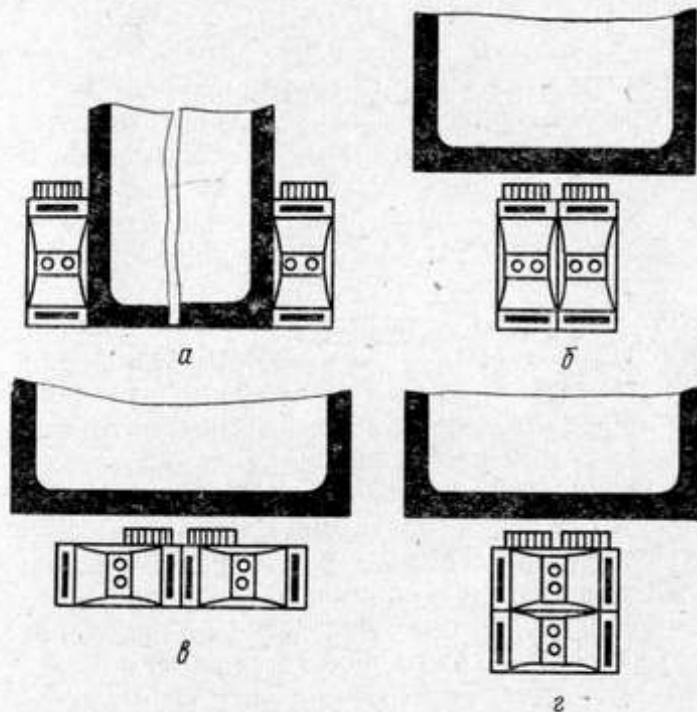


Рис. 116. Примерные схемы расположения двухполосных громкоговорителей:
а — сбоку экрана; б, в, г — под экраном

При большом весе и габаритах (например, громкоговорители 30А-13) рекомендуется ставить их на тележки или ножки с роликами.

Необходимо предусмотреть дополнительное крепление под высокочастотные головки, так как силуминовые горловины рупора не рассчитаны на тряску при перемещениях громкоговорителя и могут обломиться под тяжестью головки.

Для последующей правильной установки громкоговорителей при первой ориентировке направления от них звука в зал нужно положения громкоговорителей отметить на полу краской.

На рис. 116 даны примеры расположения громкоговорителей. Правила выбора нужных углов поворота и наклона во всех случаях остаются неизменными.

При установке громкоговорителей необходимо предусмотреть возможность доступа к задней его стенке, доступа к клеммам и для открывания дверцы на его стенке. Обычно расстояния в 0,5—0,75 м вполне достаточно. Однако если это сопряжено со слишком большим выдвижением громкоговорителя вперед в зал от экрана, то лучше всего иметь приспособление для откатывания его вперед от стенки (ролики, катки).

Установленные открыто громкоговорители должны быть задрапированы, иначе они неприятно выделяются на общем фоне архитектурного оформления зала. Кроме того, драпировка предохраняет головки от попадания пыли. Выбор цвета материи и характер исполнения драпировки решаются в соответствии с общим оформлением зала.

Опыт показал, что замаскированность громкоговорителя благоприятно сказывается на неразрывности восприятия зрителем звука и изображения.

С точки зрения акустики важно, чтобы материя, используемая для драпировки, была не плотная, иначе резко ослабляется излучение высоких частот и звучание громкоговорителей приобретает неприятный бубнящий характер. Для драпировки можно рекомендовать материю типа майи, вуали, легких сортов крепдешина, тюля и т. п.

Практически для определения пригодности данного сорта материи для драпировки просматривают ее на просвет. Если контуры предметов хорошо видны, то плотность материи мала и она пригодна для драпировки. Применять плюш и бархат нельзя.

Материю для драпировки не следует собирать мелкими складками или сборками, так как это равносильно применению плотной материи и только ухудшает качество звуковоспроизведения.

Если оформление собирается на каркасе, надо проследить за плотным соединением его с корпусом громкоговорителя, иначе возможно появление дребезжания. Во избежание этого надо также следить, чтобы каркас обрамления экрана не имел слабокрепленных деталей.

Соблюдение рекомендаций, перечисленных выше, обеспечивает надежную и качественную работу громкоговорителей. Для сохранения первоначального качества звучания в процессе эксплуатации необходим профилактический уход за громкоговорителями и их периодическая проверка.

Для этого следует:

а) не реже одного раза в шесть месяцев проверять состояние контактов в местах перехода: клеммные щитки, выходные клеммы громкоговорителя;

б) регулярно проводить полную проверку качества звуковоспроизведения тест-фильмом.

Такая проверка обязательна каждый раз после замеченных при демонстрации картины недостатков. При отсутствии тест-фильма необходимо иметь контрольную фонограмму, качество звучания которой известно и оценивается как хорошее;

в) периодически очищать пылесосом громкоговоритель от пыли, в частности чистить оформление;

г) обязательно проверять состояние громкоговорителей после аварийных случаев, вызывающих появление мощного сигнала на выходе усилителя, так как искаженный сигнал в этом случае может соответствовать 2—3-кратной тепловой перегрузке головок громкоговорителей;

д) немедленно заменять дефектную головку, даже если дефект небольшой, и своевременно ремонтировать ее. При отсутствии запасной головки, чего, как правило, не должно допускаться, временный переход на уменьшенное число головок должен сопровождаться включением балластного сопротивления взамен выбывшей головки.

§ 2. Передвижные громкоговорители

Особенности работы передвижного комплекта звуковоспроизводящей аппаратуры влияют и на эксплуатацию громкоговорителей. В стационарной аппаратуре качество работы комплекта громкоговорителей в основном зависит от правильной установки их; в передвижной аппаратуре, наоборот, основными являются вопросы правильной эксплуатации громкоговорителя.

Связано это с тем, что передвижной громкоговоритель часто приходится приспособлять к установке в случайных помещениях. В то же время очень важна сохранность громкоговорителя, обеспечивающая безотказность его работы.

Эксплуатация громкоговорителей

Для безаварийной и хорошей работы громкоговорителей необходим контроль за его состоянием перед выездом и после окончания рейсовой поездки.

Такой двойной контроль, во-первых, создает у кинемеханика уверенность в исправности громкоговорителя, с которым он готовится выехать, и повышает ответственность за создание нужных условий при транспортировке громкоговорителя; во-вторых, дает возможность определить качество возвращаемого громкоговорителя и позволяет своевременно устранить мелкие повреждения, возникшие в громкоговорителе, обеспечивая тем самым постоянную готовность аппаратуры к эксплуатации.

Контроль заключается прежде всего во внешнем осмотре громкоговорителя и проверке его центрирования. Одновременно проверяется, не попали ли в зазор магнитной системы мусор, опилки и т. п. Порядок осмотра такой же, как и для стационарных громкоговорителей.

Второй этап проверки — контроль качества работы громкоговорителя. Для этого прослушивается воспроизведение громкоговорителем плавно изменяющейся частоты.

В этом случае генератор включают на гнезда звуко-снимателя. При малом напряжении на выходе генератора его можно включать на фотоэлементный вход усилителя. Выходной уровень должен соответствовать нормальной мощности громкоговорителя.

В практике обычно приходится прибегать к более простым способам проверки, заключающимся в прослушивании тест-фильма или фонограммы хорошего качества. Такое прослушивание комплекта, то есть усилителя с громкоговорителем, позволяет судить о его исправности в целом.

Однако если замеченные дефекты вызывают сомнение в их источнике, необходимо громкоговоритель проверить вторично, включив его в заведомо исправный усилитель. Такая дополнительная проверка необходима, так как причиной появления дребезжания могут быть возросшие вследствие неисправности усилителя нелинейные искажения при полной исправности громкоговорителя.

Надо твердо помнить, что нельзя оставлять без внимания даже сравнительно небольшие дефекты, рассчитывая, что они сами устранятся или будут мало заметны в работе. Как правило, последнее влечет за собой быстрое ухудшение качества громкоговорителя и аварию.

Особенно внимательно надо следить за транспортировкой громкоговорителя.

Готовясь к перевозке, прежде всего принимают меры, обеспечивающие невозможность попадания на громкоговоритель влаги, так как она вызывает разбухание диффузора, потерю им механической прочности, резкое уменьшение общей отдачи и ухудшение воспроизведения высоких частот. Кроме того, проникновение влаги в воздушный зазор магнитной системы вызывает появление коррозии и в дальнейшем — выход громкоговорителя из строя.

Лучше всего укрывать громкоговоритель влагонепроницаемым плотно закрывающимся чехлом: брезентовым, клеенчатым и т. п. Если вся перевозимая аппаратура имеет дополнительное общее покрывало, то при укладке надо особенно тщательно закрывать громкоговоритель. Лучше всего оборудовать съемный легкий кузов, обтянутый непромокаемой тканью.

Громкоговоритель, как и всю аппаратуру, следует оберегать также от излишней тряски, следствием которой может быть расцентрирование громкоговорителя. Для этого под громкоговоритель подкладывают мягкую подстилку, выполняющую роль амортизатора, например сено, уложенное на дно повозки или автомашины, или лучше специально набитый сенник.

Так как головка передвижного громкоговорителя установлена в чемодане, то для большего сопротивления тряске его надо укладывать на широкую сторону на переднюю или заднюю стенку. Ставить его вертикально или на узкую боковую сторону нежелательно, так как при таком положении головка более чувствительна к сотрясениям.

При малой вместимости кузова громкоговоритель лучше класть на самое дно. Все эти советы относятся не только к подготовке к выезду с базы, но и к перевозкам по маршруту. Приведенные выше рекомендации могут быть изменены в зависимости от погоды и времени года.

Так, осенью и весной особое внимание следует обращать на защиту от осадков. Зимой надо иметь дополнительную теплозащиту: войлок, кошму, ватный чехол и т. п. Надо оберегать громкоговоритель от резкого изменения температуры и не допускать перенесения аппаратуры сразу с мороза в теплое помещение или наоборот. Поздней осенью, когда грязь уже замерзла, а снега нет или еще мало, особое внимание надо обращать на защиту громкоговорителя от тряски.

Установка громкоговорителей

Правильная установка громкоговорителей в большинстве случаев осложняется специфическими условиями эксплуатации передвижной аппаратуры. К числу этих особенностей относятся:

1) наличие в большинстве комплектов передвижной аппаратуры одного громкоговорителя;

2) недостаточно хорошая акустика помещений, в которых происходит демонстрация картин, в частности малая их высота, не превышающая чаще всего высоты обычного жилого дома.

Рассмотрим отдельные случаи установки громкоговорителей.

Комплект КУУП-56 с громкоговорителем 25А-17. В комплекте имеются фактически два громкоговорителя. Так как чемодан раскрывается на две самостоятельные половины, то в этом случае применимы те же рекомендации, что и для установки стационарных громкоговорителей. Напомним, что наилучшим размещением громкоговорителей является подвешивание их на такой высоте, чтобы центр отверстия в чемодане приходился на $\frac{1}{2} \div \frac{2}{3}$ высоты экрана.

Громкоговорители могут быть размещены по бокам экрана и на подставках, минимальная высота которых должна обеспечивать высоту акустического центра громкоговорителя от пола не менее 1,8 м.

Угол поворота каждого громкоговорителя должен быть отмечен на подставке краской.

Комплекты КУУП-56 с громкоговорителем 25А-13, КПУ-52. Наилучшим размещением громкоговорителя этих комплектов была бы установка его над экраном по его центральной оси. В этом случае надо обеспечить крутой угол наклона так, чтобы акустическая ось громкоговорителя пересекала центр зала.

Хорошие результаты дает установка громкоговорителя и под экраном. Однако это возможно только в том случае, если центр излучения громкоговорителя будет находиться не ниже 1,8 м от пола.

Обычно это условие нельзя выдержать, так как высота помещения не позволяет вешать экран достаточно высоко. Так, например, при минимальной высоте экрана 1,5 м высота помещения должна быть не менее: $1,5 + 1,8 + 0,2 = 3,5$ м.

В обычных условиях громкоговоритель чаще всего приходится устанавливать сбоку экрана, сохраняя неизменными все приведенные выше рекомендации в отношении высоты его подъема. Следует только отметить, что угол разворота громкоговорителя здесь увеличивается, так как он должен обеспечить равномерное распределение звуковой энергии (рис. 117).

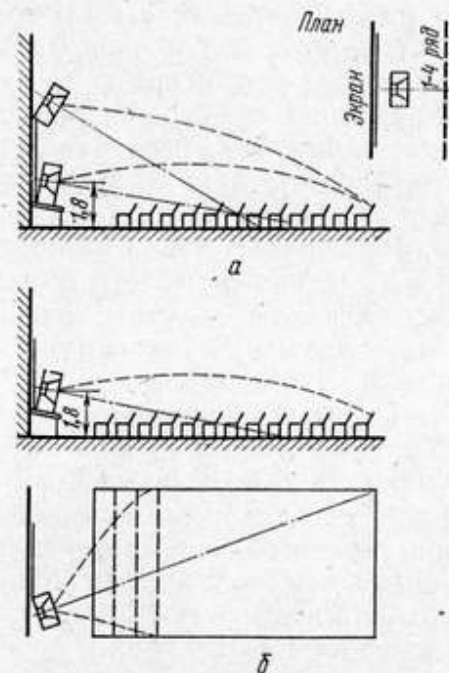


Рис. 117. Примерные схемы расположения громкоговорителя кинопередвижки:

а — над или под экраном; б — сбоку экрана

При установке передвижных громкоговорителей необходимо соблюдать следующие правила:

1) нельзя устанавливать громкоговорители прямо на полу, ибо в этом случае из-за поглощения сидящими в первых рядах зрителями высоких частот резко ухудшается качество звукопередачи и, в частности, падает разборчивость речи для зрителей, сидящих в последних рядах;

2) следует хорошо закреплять шланг, соединяющий громкоговоритель с усилителем для того, чтобы при случайном задевании шланга не свалить громкоговоритель или усилитель.

§ 3. Особенности эксплуатации многоканальных систем

Рассмотренные в предыдущих параграфах вопросы относились к обычным кинотеатральным трактам, звуковоспроизведение в которых осуществляется одним каналом, состоящим из усилителя и громкоговорителя. В настоящее время все шире и шире внедряется в практику новый вид кинозрелища — широкоформатное кино на 70-мм пленке, одной из отличительных сторон которого явилось использование многоканальных трактов, позволяющих осуществить стереофоническое, то есть объемное, звучание. Наряду с широкоформатным кинематографом в практику кинопоказа прочно вошел и широкоэкранный кинофильм. Большое число стационарных киноустановок в свое время было оснащено четырехканальной стереофонической аппаратурой звуковоспроизведения, что позволяет на них демонстрировать широкоэкранные копии широкоформатных фильмов со стереофонической фонограммой*.

Стереофоническое звуковоспроизведение не только позволяет обеспечить перемещение источника звучания в пределах большого экрана и даже вынести его в зал, но является единственным средством воспроизведения пространственной картины звукового поля многих источников звука. В качестве примера можно привести оркестр или хор, в которых не только много источников звучания, но и расположение их вполне определенное.

Многokrатно ставившиеся опыты сравнения одноканального монофонического звучания со стереофоническим всегда убедительно показывали, что при одинаковых объективных качественных показателях трактов стереофоническое звучание слушателем оценивалось на класс выше монофонического.

Таким образом, стереофония есть средство подъема качества звуковоспроизведения на более высокую ступень при использовании той же аппаратуры, что и для монофонических трактов. Эта причина является основной для объяснения бурного расцвета и прогресса двухканальной любительской

* Вначале и широкоэкранные фильмы выпускались в ряде случаев со стереофонической фонограммой. Однако по ряду причин в производстве кинофильмов такой вид фонограммы практически был вытеснен одноканальной фотографической фонограммой. На наш взгляд, это явление временное, и стереофония в широкоэкранном кинематографе еще найдет широкое применение.

стереофонии индивидуального пользования (магнитофоны, грампластинки).

Широкоформатный кинематограф использует для звукового сопровождения фильма шестиканальную стереофонию, для чего на 70-мм пленке помимо изображения расположены шесть магнитных дорожек с записанными на них фонограммами.

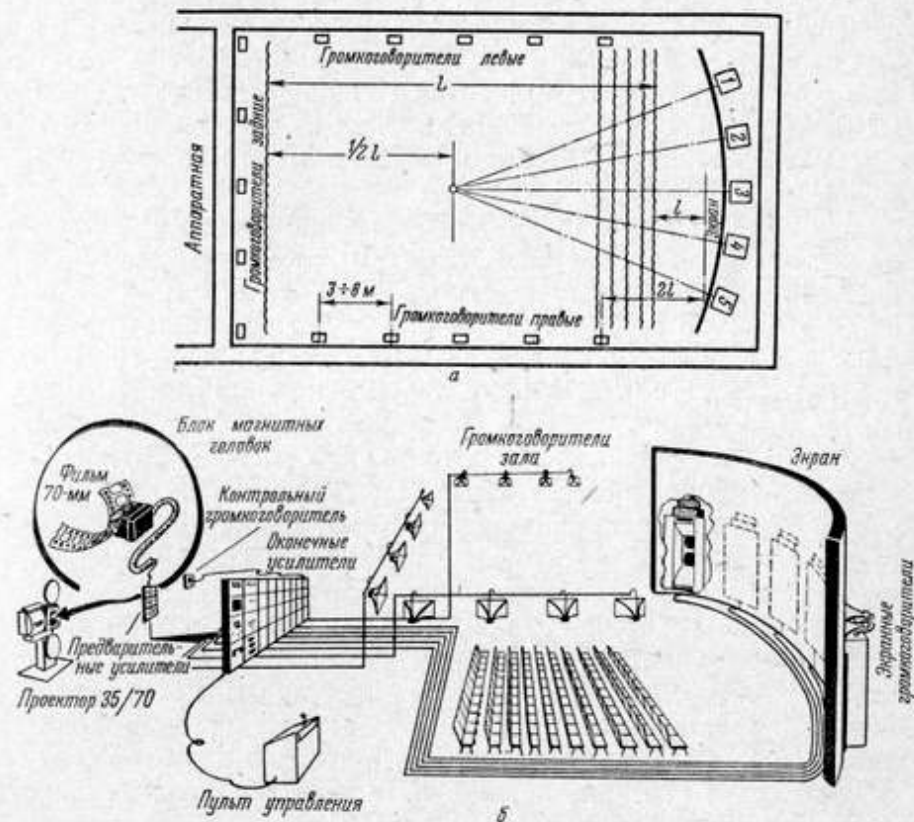


Рис. 118. Схема (а) и панорама (б) расположения громкоговорителей в широкоформатном кинотеатре

Соответственно комплект звуковоспроизводящей аппаратуры имеет шесть каналов: громкоговорители пяти каналов размещаются за экраном, а шестого канала — на стенах зала цепочкой с определенным шагом (схема рис. 118).

Закранные громкоговорители являются основными каналами, несущими всю смысловую звуковую информацию фильма, а зальные громкоговорители — вспомогательным каналом, или, как его часто принято называть, каналом

звуковых эффектов. Само название канала хорошо указывает на его назначение — увеличивать силу воздействия звукового сопровождения фильма путем выноса в отдельные моменты звучания в зал или добавления различных эффектов, сюжетно связанных с разворачивающимся на экране действием: шум дождя, гром, выстрелы, пение птиц и т. п.

Размещаемые за экраном громкоговорители принято нумеровать 1, 2, 3, 4 и 5 слева направо, если смотреть на них из зрительного зала.

Громкоговорители эффектного канала обозначаются «Левый», «Правый» и «Задний», исходя из того же условия, что наблюдатель расположен в зале и лицом обращен к экрану.

Напомним, что широкоформатные киноустановки комплектовались аппаратурой КЗВТ-10, в состав которой входили заэкранные громкоговорители 30А-13 и зальные 30А-14. С 1968 г. такие установки будут оснащаться комплектами «Звук 6×50» и «Звук 6×100» с экранными громкоговорителями типа 30А-66 и 30А-62 и зальными 30А-46 соответственно.

Эксплуатация такой многоканальной системы звуковоспроизведения во многом требует соблюдения тех же правил, что и обычная одноканальная система, однако отличается от нее некоторыми особенностями. Их мы и коснемся ниже, опуская все ранее рассмотренные вопросы.

Как уже говорилось, основные громкоговорители должны устанавливаться за экраном, для чего он должен быть звукопроницаемым, то есть перфорированным. Громкоговоритель 3 устанавливается по центру экрана, громкоговорители 1 и 2, 4 и 5 должны быть установлены в центре соответствующих его зон, каждая из которых должна составлять $\frac{1}{2}$ ширины экрана (см. рис. 118, а).

Передней стороной громкоговорители должны стоять возможно ближе к полотну экрана, однако говорители каналов 1, 2, 4 и 5 разворачиваются дополнительно так, чтобы их акустические оси перекрестились примерно в половине зала.

Положение боковых по отношению к центральному громкоговорителю 3 громкоговорителей уточняется в зависимости от особенностей зрительного зала, с тем чтобы каждый из них при самостоятельной работе обеспечил равномерное распределение звуковой энергии от всей площади зрительских мест.

Наличие высокочастотных громкоговорителей в указанных выше типах с разнесенными акустическими центрами и отдельной регулировкой угла наклона облегчает выполнение основных требований, приведенных в гл. 5 § 2.

При регулировке наклона высокочастотных громкоговорителей в залах без балконов или с балконом малых размеров следует нижний рупор направить на середину передней части партера, а верхний — на середину задней его части. При балконе больших размеров нижний рупор ориентируется на середину партера, а верхний — на переднюю часть балкона.

Так как суммарная мощность всех пяти одновременно работающих громкоговорителей заметно выше, чем в одноканальном тракте, следует в процессе установки и опробования громкоговорителей обращать особое внимание на ликвидацию в зале источников дребезжания: плохо закрепленные стекла в арматуре осветительных приборов, рама экрана и т. п.

Каждый экранный громкоговоритель должен иметь свой индивидуальный распределительный щиток и соединительный кросс с соответствующей маркировкой концов.

Поскольку высота широкого экрана обычно существенно больше обычного, то под громкоговорители должен быть изготовлен специальный помост для нужного подъема их акустического центра, то есть центра плоскости, в которой размещаются выходные отверстия акустических линз.

Эффектные громкоговорители размещаются на боковых и задней стенах зрительного зала, расположение их во многом определяется формой зала и его архитектурной отделкой и задаются проектом.

Для залов с нормальным соотношением размеров и простой отделкой можно сформулировать следующие требования к размещению эффектных громкоговорителей:

- 1) громкоговорители размещаются равномерно на всех трех стенах зала;
- 2) расстояние между двумя соседними громкоговорителями может меняться в пределах от 3 до 8 м, однако принятое расстояние должно быть одинаковым для всей цепочки;
- 3) громкоговорители должны быть размещены возможно выше (высота подвеса в среднем допускается в пределах 4—6 м);
- 4) громкоговорители вешаются прямо на стену или укрепляются в нише без наклона к зрителям и драпиру-

ются легкой тканью, если архитектурное оформление стены не содержит элементов, маскирующих громкоговоритель;

5) первая пара боковых громкоговорителей (один на левой, другой на правой стене от экрана) устанавливается на расстоянии от экрана, равном удвоенному расстоянию от него до первого ряда партера.

По поводу последней рекомендации следует дать дополнительное разъяснение. В практике работы широкоэкранных кинотеатров возникает необходимость обеспечить звукоусиление речи (торжественные премьеры фильмов, встречи с творческими работниками кино, конференции зрителей и в ряде случаев торжественные собрания и митинги). Комплект аппаратуры позволяет использовать для этих целей шестой канал, на который подается сигнал от микрофонов, установленных на эстраде перед экраном.

Рекомендованное расположение первой пары громкоговорителей боковых стен позволяет, с одной стороны, обеспечить достаточный уровень в передних рядах партера, а с другой, избежать акустической обратной связи в цепи микрофон — громкоговоритель (ее иногда называют «завязка»), которая проявляется в сильном подзвоне, переходящем в непрерывный тональный сигнал. Чтобы избежать такого неприятного явления, можно рекомендовать применять динамические микрофоны с кардиоидной характеристикой типа МДО-1 или 82А-5М.

Совершенно естественно, что данные рекомендации являются общими и должны уточняться в связи с особенностями места установки, что должно делаться на стадии исполнения проекта. Для примера можно указать, что если длина зала значительно превышает его ширину, то количество громкоговорителей, установленных на боковых стенах, должно быть увеличено, а на задней — уменьшено.

Если проектом предусмотрены ниши для установки громкоговорителей, закрываемые декоративными элементами (перфорированная плита, рейки), то следует помнить о следующих дополнительных правилах: диаметр отверстия перфорации по крайней мере в два раза должен быть больше толщины материала и общая площадь перфораций должна занимать от 30 до 50% поверхности плиты, толщину рейки желательно выбирать минимальной и не шире половины просвета между двумя соседними рейками, а высота рейки не должна превышать ширину просвета. Следует обращать особое внимание на жесткость декоративных

элементов с целью избежать их возбуждения при работе громкоговорителя.

В КЗВТ-10 низкочастотные и высокочастотные звенья зальных громкоговорителей соединяются последовательно на каждой стене и тремя группами включаются параллельно на соответствующие выводы согласующих автотрансформаторов панели управления усилительных стоек. Трансформаторы имеют следующие выводы:

высокочастотный (ГР-1) — 7,5; 10; 15; 20; 24; 30; 40 ом;
низкочастотный (ГР-2) — 5; 6; 7; 10; 12; 15; 20; 30 ом.

Целесообразно линии от в.-ч. и н.-ч. групп каждой стены завести на самостоятельный распределительный щиток, а с него подать к стойке КЗВТ-10. В зависимости от установленного на стенах количества громкоговорителей, общее сопротивление групп может быть подсчитано по формуле:

$$R_{н.-ч.} = \frac{15 \cdot n}{3}; \quad R_{в.-ч.} = \frac{20 \cdot n}{3},$$

где n — число головок в группе.

В комплектах «Звук» номинальное выходное напряжение равно 60 в, громкоговорители имеют согласующие трансформаторы и прямо включаются в линии. Все трансформаторы имеют обмотки с отводами, позволяющие включать громкоговорители на полную мощность или вводить затухание 3 и 6 дб, то есть подводить к ним половину или четвертую часть мощности*.

Для экранных громкоговорителей в процессе наладки установки может встретиться случай, когда целесообразно уменьшить подводимую к ним мощность путем переключения обмотки трансформатора. Для зальных громкоговорителей такая операция обязательна, если суммарная номинальная мощность всех установленных громкоговорителей превышает мощность шестого канала — канала эффектов. В противном случае на пиках передачи из-за перегрузки выходного усилителя могут возникнуть искажения.

В заключение в самых общих чертах приведем некоторые соображения, касающиеся универсальных комплектов КЗТУ.

* По логарифмической шкале 3 дб по мощности соответствуют двойному ее изменению, а двойному изменению напряжения соответствуют 6 дб, так в первом случае вычисляется $10 \lg \frac{P_1}{P_2}$, а во втором — $20 \lg \frac{U_1}{U_2}$.

Как уже говорилось, в этих комплектах пять основных стереофонических каналов используются для звуковоспроизведения кинофильмов и звукоусиления сцены.

Первый род работы обеспечивается комплектом экранных громкоговорителей, к установке которых и регулировке предъявляются те же требования, что и в обычном широкоформатном кинотеатре.

Второй род работы обеспечивается комплектом других пяти громкоговорителей, устанавливаемых над порталом сцены за акустически прозрачной передней частью потолка зала. Нумерация порталных громкоговорителей соответствует принятой нумерации для экранных громкоговорителей.

Ввиду высокого расположения порталных громкоговорителей они должны быть заметно наклонены, с тем чтобы их акустические оси также попали на центр зала. Ориентация высокочастотных громкоговорителей должна подчиняться ранее приведенным соображениям об обеспечении равномерного покрытия прямой звуковой энергией всей площади зрительских мест.

Вторая стереофоническая система образована четырьмя каналами, громкоговорители которых расположены на стенах и потолке зала. При показе широкоэкранных фильмов сигнал с шестой фонограммы распространяется на три стеновых канала зала.

Установка стеновых громкоговорителей производится по тем же рекомендациям, что и для кинотеатральных громкоговорителей. Громкоговорители потолка устанавливаются также с шагом до 8 м равномерно по его поверхности.

Для залов до 4000 мест, в которых устанавливается аппаратура КЗТУ-3, зальные каналы используются также для усиления речи во время торжественных заседаний, митингов и т. д.

Для залов с числом мест 4000 и выше усиление речи осуществляется распределенной системой кресельных громкоговорителей, головки которых вмонтированы в спинки кресел, размещенных в зале. Эти громкоговорители питаются от своих каналов.

Многоцелевое использование зала (речь, кинофильм, усиление концертов различного жанра, театрализованных постановок и т. п.) вызвало появление в этих комплектах еще одной системы — амбиофонической, питаемой от своих каналов и имеющей свою систему громкоговорителей.

В зависимости от рода работы зала, резко меняются требования к его акустике, а удовлетворить их средствами строительной-архитектурной акустики практически невозможно. Система амбиофонии является в этом тупике выходом из положения, так как позволяет средствами электроакустики* менять в широких пределах и быстро акустические условия в зале (подробнее см. Приложение VI).

Небольшого размера амбиофонические громкоговорители типа 25А-24 (рис. 119) состоят из широкополосной головки прямого излучения 4А-28 малого объема в закрытом ящике, заполненном поглотителем. Громкоговорители располагаются непрерывной цепочкой по всему верхнему периметру зала с мелким шагом (от 1 до 1,5 м), а также равномерно распределяются пятью зонами по поверхности потолка.

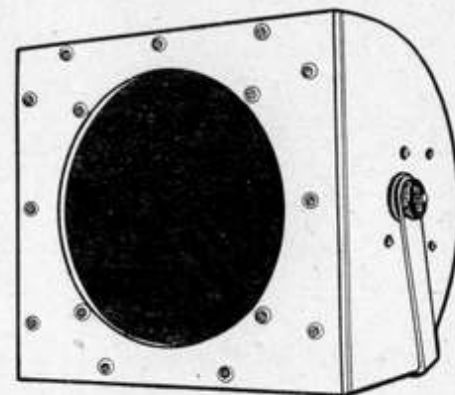


Рис. 119. Амбиофонический громкоговоритель 25А-24

Схема включения амбиофонических громкоговорителей в пять каналов строится таким образом, чтобы в первом поясе, ближайшем к сцене, преобладали громкоговорители первого канала и небольшое количество громкоговорителей второго канала. Во втором поясе преобладают громкоговорители второго канала, есть некоторое количество их из первого и появляются громкоговорители третьего канала и т. д. В пятом поясе — в основном громкоговорители пятого канала и некоторое количество четвертого.

Каждый амбиофонический канал характеризуется временем задержки, то есть запаздывания сигнала по отношению к сигналу прямого звука со сцены. Чем выше номер канала, тем больше время задержки сигнала в нем.

Закон перемешивания с убыванием одних источников

* Для хорошего воспроизведения речи зал должен иметь относительно малое время реверберации, тогда как для концертов оно должно быть существенно большим. Поэтому средствами архитектурной акустики в нем создаются характеристики, наилучшие для речевых передач, а «разглушение» зала при концертах производится с помощью амбиофонической системы.

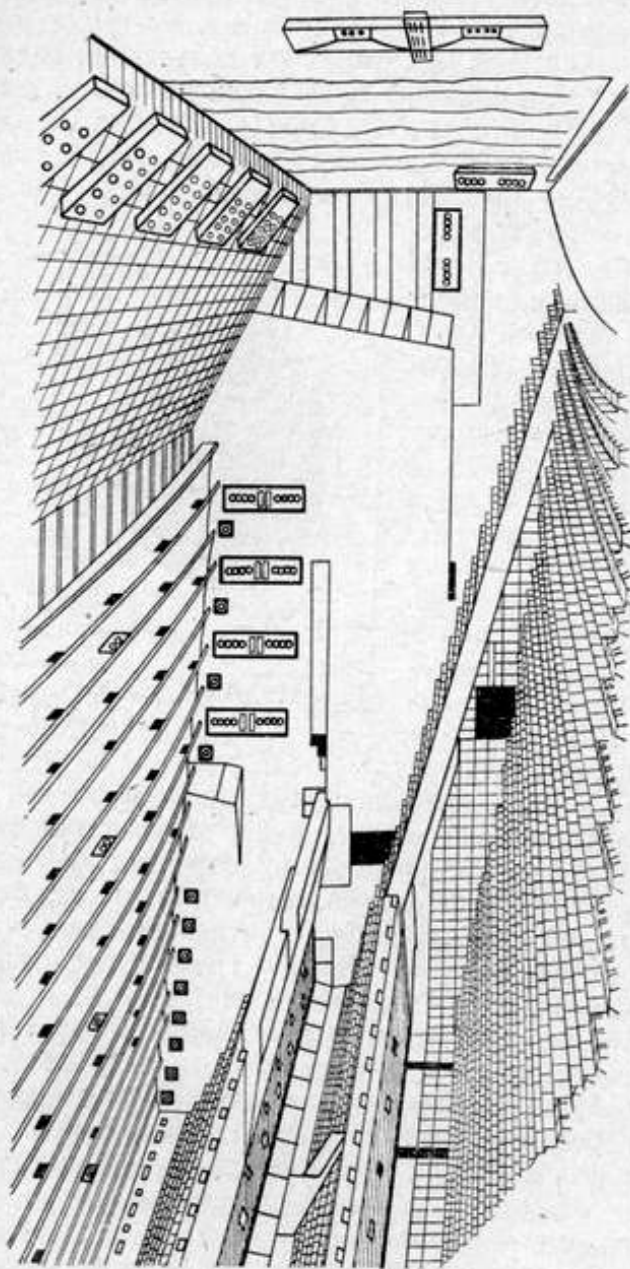


Рис. 120. Примерная схема расположения громкоговорителей в зале многоцелевого назначения на 6000 зрителей

и нарастанием других необходим для создания естественной картины как бы отраженных сигналов с различным временем запаздывания в различных точках зала, характерной для «разглушенного» помещения.

Приведенное нами краткое описание дает лишь общее представление о принципах работы и назначениях различных громкоговорителей в таких сложных комплексных установках.

Все эти вопросы достаточно сложны, поэтому как сами залы, так и размещение громкоговорителей в них, а также схемы и т. п. документация тщательно прорабатываются в процессе индивидуального проектирования каждого зала. Точно так же после монтажа каждый зал и аппаратура в нем тщательно отлаживаются и юстируются группой специалистов различного профиля.

Для закрепления общего представления о комплексных системах на рис. 120 приведена схема расположения громкоговорителей для наиболее сложного случая — многоцелевого зала на 6000 зрителей.

§ 4. Фазирование громкоговорителей

Фазирование громкоговорителей улучшает качество звуковоспроизведения.

Несфазированность широкополосных громкоговорителей приводит к явно заметному на слух резкому падению отдачи на низких и средних частотах (рис. 121). Одновременно несколько уменьшается отдача и высоких частот, а частотная характеристика громкоговорителей в этой области имеет резко выраженные пики и провалы, то есть большую неравномерность. Голоса и инструменты приобретают резкий, неприятный тембр. На слух заметно нарушение баланса низких и высоких частот в звуковом материале, речь становится «лающей».

У двухполосных громкоговорителей при отсутствии фазирования низкочастотных и высокочастотных громкоговорителей между собой наблюдается та же картина.

При расфазировании низкочастотного громкоговорителя по отношению к высокочастотному появляется провал частотной характеристики в полосе совместной работы обоих громкоговорителей. Ширина этого провала будет определяться свойствами разделительного фильтра (см. главу 4). Наличие провала может привести к явно ощущаемому на

слух раздельному звучанию низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей.

Для выявления причин, вызывающих ухудшение качества громкоговорителей при неправильном фазировании их, надо вспомнить работу излучателя, разобранный ранее. Нами было установлено, что при колебаниях подвижной системы головки громкоговорителя происходит периодическое изменение давления воздуха, находящегося впереди нее*.

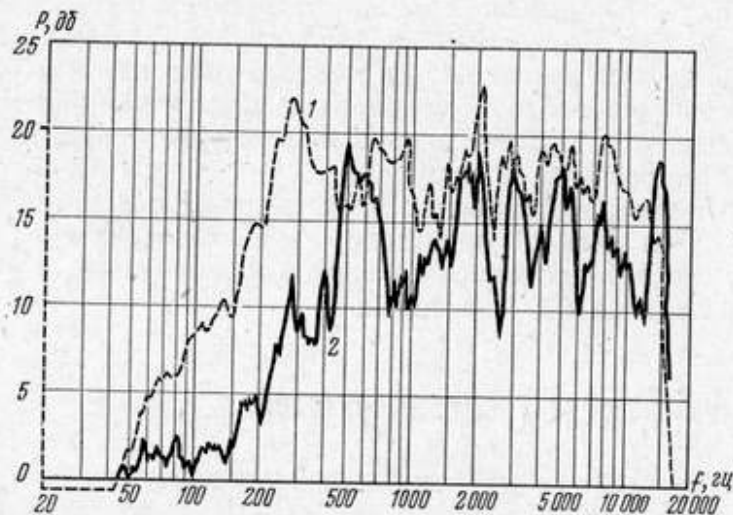


Рис. 121. Влияние фазировки на частотную характеристику громкоговорителя 25А-13:
1 — головки сфазированы; 2 — головки в противофазе

Так, при движении системы вперед происходит увеличение давления, при движении назад — уменьшение. Происходящее изменение давления вызывает колебание частиц воздуха, то есть распространение звуковой волны. Совершенно очевидно, что если колеблются две подвижные системы, то они должны колебаться в фазе (движение вперед и назад у обеих систем должно происходить одновременно). В противном случае одна из них будет создавать увеличение давления, а другая — уменьшение. Таким образом, произойдет взаимная полная или частичная компенсация избыточного давления.

* Напомним, что передней стороной подвижной системы громкоговорителя мы называем поверхность диффузора, обращенную к зрительному залу.

Одновременность, или синфазность, колебаний подвижных систем обеспечивается, если направление тока в звуковой катушке и полярность магнита у обеих головок одинаковы.

Так как заводы наматывают катушки и намагничивают постоянные магниты определенным образом, то весь вопрос сводится к правильному включению концов обмоток звуковых катушек. При последовательном соединении головок между собой должны соединиться конец одной и начало другой обмотки; при параллельном включении начало и конец обмоток соединяются вместе.

Для облегчения определения начала и конца обмоток завод-изготовитель применяет специальную расцветку выводных концов.

Фазирование головок громкоговорителей можно производить как на слух, так и наблюдением за смещением подвижной системы.

Сказанное выше относится к громкоговорителям, не содержащим дополнительных элементов (фильтр, согласующий трансформатор). В последнем случае процесс фазирования усложняется, так как для этого требуется некоторый набор специальной измерительной аппаратуры. Рассмотрим примеры фазирования громкоговорителей.

Фазирование однополосных громкоговорителей

В комплектах звуковоспроизводящей аппаратуры, громкоговорители которых не имеют дополнительных элементов (например, КУУП-56), проверка правильности фазирования может производиться испытанием «на фон». Для этого к громкоговорителю подводится напряжение низкой частоты 50 или 100 гц.

Наиболее просто такое напряжение на клеммах громкоговорителей может быть получено при засветке фотоэлемента от обычной осветительной лампы, питаемой переменным током. Низкочастотный фон можно получить также, поднеся руку к открытым входным цепям усилителя. Наконец, в качестве источника напряжения низкой частоты можно использовать генератор звуковых частот, тест-кольцо 70 или 100 гц.

Прослушивая уровень воспроизводимого громкоговорителем низкочастотного колебания, меняют подключение звуковых концов одной из головок на обратное. Если громкость воспроизводимого тона падает, то первое включение

громкоговорителей было правильным и должно быть оставлено. Если уровень возрастет, — правильным будет второе включение.

Для большей уверенности в полученном результате следует произвести три-четыре таких переключения, следующих одно за другим. Окончательное положение звуковых концов необходимо замаркировать, лучше всего прямо на выходных клеммах громкоговорителя.

Фазирование двухполосных громкоговорителей

В этом случае требуется проверить фазирование низкочастотных и высокочастотных головок между собой, если их несколько в звене, затем проверить фазирование звеньев по отношению друг к другу и, наконец, сфазировать низкочастотные звенья по отношению к высокочастотным.

Из перечисленных операций видно, что фазирование двухполосных громкоговорителей с помощью обычно употребляемого метода «на слух» является сложным и сомнительным по результатам.

В промышленности обращают особое внимание на контроль за правильным и однообразным расположением концов обмоток, цветной маркировкой выводных концов и полярностью магнита. Для предотвращения ошибок при включении головок при монтаже громкоговорителя на месте установки они снабжаются специальными соединительными колодками или вилками.

Поэтому вновь полученные громкоговорители, как правило, не требуют проверки сфазированности головок, которая должна производиться, только если прослушивание их вызывает сомнение в правильной фазировке.

Основное внимание в процессе монтажа должно быть обращено на правильное включение внешних соединений (схемы даны в Приложении VII). Однако головки, пришедшие из ремонта или подвергнутые переборке, должны обязательно проверяться.

Во всех случаях, когда требуется провести проверку сфазированности головок двухполосных громкоговорителей, может быть рекомендован только один надежный способ — визуальный. У головок проверяется направление смещения подвижной системы при подведении к звуковой катушке постоянного напряжения 3—4 в, источником которого могут быть батарея карманного фонаря, накальная батарея или аккумулятор: если оно одинаково для всех го-

ловок, то они сфазированы. Обычно принято «+» источника постоянного тока подавать на начало звуковой обмотки, которое до введения в действие нормали Норм-кино 220—67 «Аппаратура для записи, усиления и воспроизведения звука. Фазирование» на выводных клеммах головки обозначалось цифрой «1» или буквой «Н». В этом случае подвижная система должна двинуться вперед, то есть катушка должна выходить из зазора.

В соответствии с указанной нормалью эта клемма будет обозначаться цветной точкой или знаком «+», наносимыми на плато около клемм и контактов разъема несмываемой краской. Провод монтажа будет помечаться цветным кольцом шириной 2÷5 мм.

Движение подвижной системы широкополосных головок прямого излучения или низкочастотных головок хорошо заметно по смещению диффузора. В крайнем случае, при плохом освещении это движение хорошо замечается пальцами, которые в спокойном состоянии должны слегка касаться поверхности диффузора вблизи гофра.

Для такой же проверки высокочастотных головок могут быть рекомендованы два способа. По первому из них на отверстие в нижнем фланце, которым головка присоединяется к рупору, накладывается закрывающий его кружок бумаги (писчая, газетная). При подключении постоянного напряжения импульсом кружок слетит или слегка подпрыгнет, если плюс был на начале обмотки.

По второму способу необходимо снять защитную пластмассовую крышку, и движение диафрагмы можно легко наблюдать. При этом надо помнить, что правильная фазировка будет при условии движения диафрагмы в сторону магнитной цепи (катушка втягивается в зазор), так как излучение головки происходит через керн.

Большинство двухполосных громкоговорителей, за исключением применяемых в аппаратуре КЗВТ, содержит разделительные фильтры, согласующие трансформаторы или оба эти элемента. Проверка фазировки в этом случае должна производиться по положению фигуры Лиссажу* на экране осциллографа.

Для проверки таких двухполосных громкоговорителей, как и широкополосных с переходными или согласующими

* Если два напряжения с измеряемого объекта одновременно подаются на вертикальные и горизонтальные отклоняющие системы осциллографа, то на его экране возникают фигуры в виде круга, эллипса с наклоном вправо или влево и т. п., называемые фигурами Лиссажу.

трансформаторами, собирают измерительную схему согласно рис. 122.

Из схемы измерений следует, что от генератора звуковой частоты к входным зажимам громкоговорителя, то есть клеммам на его задней стенке, его переходной плате для подключения внешнего монтажа и т. п., подводятся два конца так, чтобы «горячий» конец был включен на маркированную клемму или лепесток, а «земляной» (имеющий обозначение « \equiv ») — на второй.

Напомним, что в выпущенных ранее или выпускаемых в настоящее время до введения в действие Норм-кино 220—67 маркированным зажимом следует считать зажим с пометкой «1», «3», «н.-ч.» или «в.-ч.».

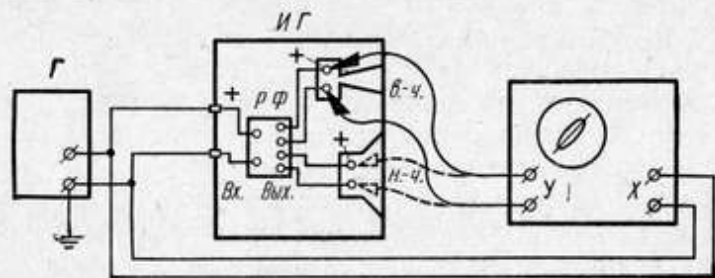


Рис. 122. Схема проверки фазировки головок громкоговорителя:

Г — генератор звуковой частоты; ИГ — испытуемый громкоговоритель; РФ — разделительный фильтр; «+» — маркированный зажим (клемма, лепесток); О — осциллограф; X и Y — клеммы (гнезда) горизонтальной и вертикальной разверток осциллографа

Одновременно от выходных концов генератора подаются соединительные концы на клеммы горизонтальной развертки осциллографа X в порядке, указанном на рис. 122. Там же показано, что выходные зажимы, то есть зажимы, к которым присоединяются головки громкоговорителя, соединяются с клеммами Y вертикальной развертки осциллографа. При этом маркированный зажим соединяется с верхней клеммой входа вертикальной развертки.

В двухполосном громкоговорителе второе соединение вначале делается для низкочастотной головки, а затем концы входа Y осциллографа переносятся на высокочастотную головку, соблюдая тот же порядок подключения.

На генераторе устанавливается частота, равная 400 или 1000 гц для широкополосных громкоговорителей, или среднегеометрическая частота соответствующего номинального диапазона каждого из его звеньев — н.-ч. или в.-ч.

Ручка регулятора выходного напряжения генератора ставится в такое положение, чтобы на экране осциллографа получить четкое изображение эллипса.

Если большая ось эллипса наклонена вправо от вертикального положения, то фазирование правильное. Если же эллипс наклонен влево от вертикали, фазирование неправильное. В последнем случае, не меняя измерительных концов, следует в удобном месте поменять местами провода схемы (например, на выходе фильтра или у клемм головки).

Подав вновь напряжение с генератора звуковой частоты, следует убедиться, что эллипс наклонен вправо и переключение проводов сделано правильно.

§ 5. Согласование громкоговорителя с усилителем

Для понимания необходимости согласования между выходным каскадом усилителя и громкоговорителем вспомним принцип действия выходного каскада усилителя.

Известно, что важным параметром, определяющим режим работы выходного каскада усилителя, является величина анодной нагрузки оконечных ламп, которая выбирается при расчете оконечного каскада.

Фактической анодной нагрузкой ламп этого каскада будет пересчитанное из вторичной в первичную обмотку выходного трансформатора сопротивление реальной нагрузки, то есть сопротивление громкоговорителя. Зная сопротивление нагрузки, которой в данном случае является полное электрическое сопротивление громкоговорителя, и имея нужную для данного режима величину анодной нагрузки, проектировщик выбирает коэффициент трансформации выходного трансформатора.

Значит, всякое изменение величины сопротивления громкоговорителя приводит к изменению величины анодной нагрузки, так как коэффициент трансформации готового выходного трансформатора неизменный.

В результате нарушается режим работы выходного каскада, вызывая падение отдаваемой усилителем мощности и рост искажений. Следует добавить, что почти во всех кинотеатральных усилителях, за исключением КЗВТ, в качестве выходных ламп применяются электроннолучевые тетроды, сохраняющие постоянство режима только при определенной величине анодной нагрузки.

На рис. 123 приведена типовая нагрузочная характеристика такого усилителя, из которой видно, что при изменении нагрузки мощность усилителя падает особенно резко в сторону уменьшения сопротивления нагрузки R_n .

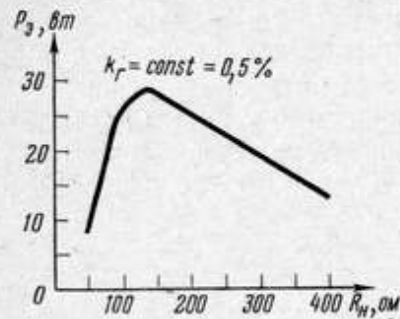


Рис. 123. Нагрузочная характеристика усилителя «Звук 1×25»

Из кривой видно, что при изменении нагрузки происходит увеличение искажений, причем изменение R_n примерно на $\pm 30\%$ вызывает уже пятикратное увеличение коэффициента гармоник.

Из приведенных соображений ясно, что нельзя допускать произвольных изменений в комплектации громкоговорителей с усилителем, не убедившись предварительно в сохранении неизменной общей величины сопротивления, выбранной в качестве нагрузки.

Для пояснения сказанного разберем конкретные примеры.

Передвижное устройство типа КУУП-56, имеющее два громкоговорителя (25А-17) или две головки в одном ящике (25А-13). При выходе из строя одной из головок и невозможности ее замены, например перед началом или во время сеанса, необходимо прежде всего переключить шланг громкоговорителя на 15-ом выход усилителя, то есть включить его в усилителе 90У-5 комплекта в гнезда «Телефон».

Кроме того, необходимо отключить неисправный громкоговоритель (25А-17) либо замкнуть накоротко звуковую ка-

тушку неисправной головки (25А-13). При этом согласование между усилителем и громкоговорителем не нарушается, хотя весь комплект начинает работать на пониженной мощности, равной 6 Вт вместо 12.

Такой режим работы может допускаться как аварийный с обязательным устранением неисправности и восстановлением нормальной комплектности в дальнейшем.

Для установления возможных вариантов замены следует твердо знать электрические данные головок громкоговорителей, приведенные ниже, в табл. 8.

Не рекомендуется заменять кинотеатральную головку одним из типов головок, применяемых в радиовещании, так как они имеют номинальное сопротивление звуковых катушек от 2,5 до 4,5 Ом вместо 15—16 Ом у первых, мало-

мощны и не приспособлены для работы в передвижных устройствах.

Массовая стационарная аппаратура КУСУ-52, «Звук-25». В кинотеатрах, работающих с полной нагрузкой, как правило, имеется полный резерв звуковоспроизводящего тракта в виде второго комплекта, на который переходят при возникновении неисправности в работающих громкоговорителях.

Однако в этом случае опыт эксплуатации показал, что необходимо чередование работы на комплектах. Только тогда достигается равномерное старение деталей и ламп обоих комплектов и появляется уверенность в постоянной готовности резервного комплекта к работе.

В кинотеатрах, где стоит один комплект аппаратуры, в аварийном случае возможно окончание сеанса на одном громкоговорителе при соответствующем ограничении усиления, с тем чтобы не вывести из строя оставшийся громкоговоритель. Неисправная головка должна быть немедленно заменена запасной, имеющейся в резерве, так как в аварийном режиме вдвое уменьшается излучаемая громкоговорителем мощность, а также ухудшаются условия распределения звуковой энергии по залу из-за односторонней (с одной из боковых сторон экрана) его работы. Неисправная головка должна быть отправлена в ремонт.

В многоканальной аппаратуре (КЗВТ, КЗВС-3, «Звук 6×50» и «Звук 6×100») громкоговорители из-за больших габаритов и достаточного запаса прочности работают без резерва, а в комплект входят запасные головки для замены неисправных.

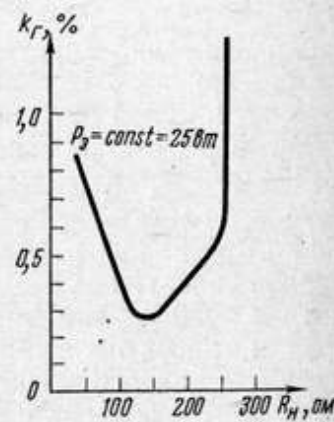


Рис. 124. Зависимость искажений в усилителе «Звук 1×25» от величины сопротивления нагрузки

тущку неисправной головки (25А-13). При этом согласование между усилителем и громкоговорителем не нарушается, хотя весь комплект начинает работать на пониженной мощности, равной 6 Вт вместо 12.

Такой режим работы может допускаться как аварийный с обязательным устранением неисправности и восстановлением нормальной комплектности в дальнейшем.

Для установления возможных вариантов замены следует твердо знать электрические данные головок громкоговорителей, приведенные ниже, в табл. 8.

Не рекомендуется заменять кинотеатральную головку одним из типов головок, применяемых в радиовещании, так как они имеют номинальное сопротивление звуковых катушек от 2,5 до 4,5 Ом вместо 15—16 Ом у первых, мало-

мощны и не приспособлены для работы в передвижных устройствах.

Массовая стационарная аппаратура КУСУ-52, «Звук-25». В кинотеатрах, работающих с полной нагрузкой, как правило, имеется полный резерв звуковоспроизводящего тракта в виде второго комплекта, на который переходят при возникновении неисправности в работающих громкоговорителях.

Однако в этом случае опыт эксплуатации показал, что необходимо чередование работы на комплектах. Только тогда достигается равномерное старение деталей и ламп обоих комплектов и появляется уверенность в постоянной готовности резервного комплекта к работе.

В кинотеатрах, где стоит один комплект аппаратуры, в аварийном случае возможно окончание сеанса на одном громкоговорителе при соответствующем ограничении усиления, с тем чтобы не вывести из строя оставшийся громкоговоритель. Неисправная головка должна быть немедленно заменена запасной, имеющейся в резерве, так как в аварийном режиме вдвое уменьшается излучаемая громкоговорителем мощность, а также ухудшаются условия распределения звуковой энергии по залу из-за односторонней (с одной из боковых сторон экрана) его работы. Неисправная головка должна быть отправлена в ремонт.

В многоканальной аппаратуре (КЗВТ, КЗВС-3, «Звук 6×50» и «Звук 6×100») громкоговорители из-за больших габаритов и достаточного запаса прочности работают без резерва, а в комплект входят запасные головки для замены неисправных.

Для предотвращения случаев, когда неисправность громкоговорителей обнаруживается во время сеанса, следует рекомендовать производить периодическую их проверку. Для этого прослушивается звучание тест-фильма или фонограммы хорошего качества при поочередной работе каждой из групп громкоговорителей.

Такое раздельное прослушивание позволяет заметить неисправность в самом начале, так как при работе всех головок небольшие дефекты могут не выявляться. Неисправную головку следует немедленно заменить запасной.

Для безаварийной эксплуатации громкоговорителей любого типа звуковоспроизводящей аппаратуры необходимо:

- 1) систематически проверять работу громкоговорителей;
- 2) заменять неисправную головку, даже если обнаруженный дефект является небольшим. В большинстве случаев незначительная неисправность очень быстро переходит в значительную, приводящую порой к срыву сеанса;
- 3) ремонт неисправной головки производить в минимальные сроки, для чего всегда должен быть готов к эксплуатации весь запасной комплект;
- 4) пришедшую из ремонта головку при наличии в запасном комплекте заводских головок использовать во вторую очередь;
- 5) при первичной установке комплекта аппаратуры наряду с рабочими головками опробовать и запасные.

6

РЕМОНТ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Качество проведенного ремонта должно соответствовать основному требованию — сохранению первоначальных качественных и эксплуатационных показателей громкоговорителя. Для проведения ремонтных работ необходимы специалисты, имеющие представление не только об общих вопросах работы громкоговорителя, но и четко понимающие назначение и важность отдельных его узлов и деталей.

Совершенно необходимо соблюдение правильной технологии ремонтных работ, определяемых применением нужных материалов, выработкой соответствующих приемов работы, контролем качества проводимых работ.

Ремонтные работы по громкоговорителям относятся главным образом к их головкам и их можно разделить на две группы. К первой относятся работы, связанные с профилактикой головок и устранением в них мелких дефектов (например, удаление мусора из зазора), центрирование подвижных систем, ликвидация мелких неисправностей в диффузоре. Ко второй группе относятся работы, связанные с восстановлением вышедшей из строя головки: перемотка

звуковых катушек, замена подвижных систем, ликвидация неисправностей отдельных деталей подвижной системы.

Капитальный ремонт поврежденной головки возможен только при наличии запасных деталей и узлов, поставляемых заводом-изготовителем, так как даже крупные киноремонтные мастерские не могут располагать оборудованием, требующимся для их изготовления.

У стационарных громкоговорителей необходимость мелкого ремонта акустического оформления может возникнуть только на этапе установки нового комплекта в кинотеатре, если его осмотр обнаружил наличие дефектов из-за транспортировки и плохой упаковки.

В передвижных громкоговорителях возможны случаи, когда при транспортировке ящик или его фурнитура повреждаются и требуют ремонта или замены.

Прогресс технологии заводского производства и улучшение контроля в производстве за последнее десятилетие привели к общему росту эксплуатационной надежности громкоговорителей. Киносеть в достаточном количестве получает запасные подвижные системы. Вследствие этих причин в подавляющем большинстве случаев ремонт головок громкоговорителей в настоящее время сводится к замене подвижных систем.

Однако, учитывая все разнообразие условий, в которых находятся эксплуатационники, можно предположить наличие случаев, когда ремонтная мастерская или особенно пункт вынуждены восстанавливать подвижную систему. Это прежде всего касается необходимости перемотать звуковую катушку или устранить мелкие повреждения диффузора. Поэтому ниже мы рассмотрим только основные и принципиально важные вопросы с целью дать основу, которая поможет в сочетании с опытом и инициативой исполнителя найти правильное решение задач, возникающих на практике и изменяющихся в зависимости от местных условий.

§ 1. Конструктивные и электроакустические данные кинотеатральных громкоговорителей

Основные конструктивные и электроакустические данные современных типов отечественных кинотеатральных громкоговорителей могут служить справочным материалом, необходимым и для ремонта громкоговорителей.

Конструктивные данные головок кинотеатральных громкоговорителей приведены в табл. 7. Из нее следует, что только широкополосные головки 4А-28 и 4А-27 имеют одинаковые подвижные системы, а отличаются типом магнита. Крепление подвижной системы на диффузородержателе и магнитной цепи такое же, что у головки 4А-18, и специального описания не требует.

Низкочастотные головки 2А-9 и 25ГДН-4 имеют очень близкие по размерам подвижные системы, так как в основе их лежит один и тот же диффузор. Однако простой перестановкой замена их друг на друга произведена быть не может, главным образом из-за различного рабочего диаметра центрирующей шайбы.

Точно такое же положение и с высокочастотными головками 1А-17 и 5ГДВ-8. Их подвижные системы очень близки друг к другу, но переставляться с одной головки на другую не могут.

С введением аппаратуры «Звук» такой разноразной с унификацией прекращается, и отныне подвижные системы головок одного типа, вне зависимости от места изготовления, становятся полностью взаимозаменяемыми. При этом остаются только два типа широкополосных головок: 4А-32 и 4А-28, два типа низкочастотных: 2А-11 и 2А-9 и два типа высокочастотных. О конструктивных их особенностях мы расскажем ниже, в параграфе об особенностях некоторого вида ремонтных работ.

Электроакустические данные однотипных головок (табл. 8) ближе друг к другу, и здесь унификация практически осуществлена. Необходимые сведения о конструкции самих громкоговорителей приведены в табл. 9 и 10*.

§ 2. Материалы для ремонтных работ

Для ремонтных работ, проводимых в киноремонтных мастерских, количество материалов невелико и сводится к следующей номенклатуре: клей, обмоточные провода, бумага, провода для выводов, припой, разный подсобный материал.

* Конструктивные данные громкоговорителей аппаратуры КЗТУ, 35КЗТ-1 и 37КЗТП-1, а также головок, поставляемых радиопромышленности для использования в кинотеатральных громкоговорителях, приведены в Приложении VII.

Конструктивные данные головок

Основные данные	4А-32	4А-28	4А-27; 4А-27т	4А-24; 4А-24т
Габариты головки (внешний диаметр × высота), мм	335×215	258×90	258×129	202×90
Вес головки, кг	10	1,5		1,0
Тип излучателя	Двухконусный: основной — литой бумажный диффузор с криволинейной образующей; дополнительный — жесткий литой бумажный конус			
Тип подвеса верхнего края излучателя	Двухзвенный гофр с акуст. промазкой	Трехзвенный гофр	Двухзвенный гофр	
Диаметр излучающей поверхности, мм	247**	200**	154**	
Вес излучателя, г	18,5	9,5	5,0	
Тип центрирующей шайбы; рабочий диаметр, мм	Матерчатая бекелизирован			
	85***	81	69	
Каркас звуковой катушки	Алюминиевая			
материал				
толщина, мм	0,1			
Внешний диаметр звуковой катушки, мм	45,6	27,5	26,5	
Внутренний диаметр звуковой катушки, мм	44,5	25,6	25,3	

Подвижная система

Таблица 7

кинотеатральных громкоговорителей

2А-11	2А-9	25ГДН-4	25ГДН-5	1А-17	1А-16	5ГДВ-8
500×190	341×195	380×211	320×154	141×95	126×124×162*	108×94
15	13,5	8,7	4,9	6,0	7,3	3
Литой бумажный диффузор с криволинейной образующей				Диафрагма со сферическим куполом из дюралюминиевой фольги 0,06 мм		
Трехзвенный гофр	Двухзвенный гофр	Трехзвенный гофр	Тангенциальный гофр			
			одно целое с диафрагмой		приклеен к диафрагме	
366	285	250	39,0	57,7	39,2	
55,0	31,0	22,0	1,2	1,9	1,4	
ная гофрированная плоская			Трехлепестковая; текстолит толщиной 3,0 мм	Плоская металлическая с тангенциальным гофром		
118,5	128,5	136				
фольга				Бумага изоляц. намоточн.	Дюралевая фольга	
0,2				0,05	0,006****	
79,0	54,4	41,5	40,0	58,8	40,2	
76,7	51,8	39,3	39,4	58,1	39,6	

Основные данные		4А-32	4А-28	4А-27; 4А-27г	4А-24; 4А-24г
Габариты головки (внешний диаметр × высота), мм		335×215	258×90	258×129	202×90
Вес головки, кг		10	1,5		10
Магнитная цепь	Диаметр керна, мм	44,0 ¹	25,2 ¹		25,0
	Диаметр отверстия в верхнем фланце, мм	46,2	27,8		26,8
	Габариты воздушного зазора (ширина × высота), мм	1,1×11	1,3×5,0		0,9×4,0
	Тип и материал ² магнита	Литой керновый ЮНДК-24	Прессованный, кольцевой, 2БА	Литой керновый	
	Вес магнита, кг	1,275	0,6	0,45	0,088
	Размеры магнита (диаметр × высота), мм	65—75 ³ × 50	90×15	44—50 ³ × 34	23—30 ³ × 24
Зазоры (мм) между	каркас — керн	0,3	0,2		0,15
	катушка — фланец	0,25	0,15		0,15
Диффузородержатель	тип	Литой	Штампованный		
	материал	Силумин	Сталь 10КП-П		
Количество крепежных отверстий × диаметр отверстия × крепежный диаметр, мм		4×6,0×362	4×6,0×246		4×5,5×192

2А-11	2А-9	25ГДН-4	25ГДН-5	1А-17	1А-16	5ГДВ-8
500×190	341×195	380×211	320×154	141×95	126×124×162*	108×94
15	13,5	8,7	4,9	6,0	7,3	3
76,0	51,2		38,8 ¹	39,0	57,7	39,2
79,5	55,1	55,08	42,2	40,5	59,5	40,7
1,75×7,0	1,95×12	1,94×12	1,7×9,5	0,75×3,0	0,9×3,0	0,75×2,5
ЮНДК 24	Литой, кольцевой			Литой керновый ЮНДК-24	Литой кольцевой ЮНДК-24	
	ЮНД-4	ЮНДК-24	ЮНД-4			
2,81	5,5	2,7	1,4	3,62	2,75	1,4
90—100 ³ × 56	160×60	126×60	106×47	141×45	80—100 ³ × 65	106×47
0,35	0,3	0,3	0,25	0,2	0,2	0,2
0,25	0,2	0,34	0,35	0,25	0,35	0,25
Литой		Штампованный		—	—	—
Силумин		Сталь 10КП-П				
Скобой за обод диффузородержателя		Винтом в торец магнитной цепи	8×6,5×307	4×M5 ⁴ ×84	3×M5 ⁴ ×60	4×M4×84

Основные данные	4А-32	4А-28	4А-27; 4А-27т	4А-24; 4А-24т
Габариты головки (внешний диаметр × высота), мм	335×215	258×90	258×129	202×90
Вес головки, кг	10	1,5		1,0
Высота предрупорной камеры, мм	—	—		—
Год освоения серийного производства	1967	1961		1958
Изготовитель	ЛОМО			

Примечания: * Магнитная цепь 1А 16 — прямоугольной формы, «т» — для работы в тропическом климате.
** Размеры дополнительного конуса:

	D, мм	h, мм
4А-32	94	43
4А-28; 4А-27	77	42
4А-24	71	33

- *** 4А-32 имеет коробчатую форму шайбы
**** Каркасом является цилиндрический край
1 На керне медный колпачок (коротко 0,4 мм — для 25ГДН-5).
2 ЮНДК-24 ранее имел шифр АНКО-4;
3 Керновые магниты имеют форму усеченного конуса, указано: диаметр вершины — диаметр основания.
4 «М5» — отверстия с резьбой 5 мм.

Клей. Выбор сорта клея имеет важное значение при ремонте головок громкоговорителей. Так как все детали подвижной системы — диффузор, центрирующая шайба, звуковые катушки — скреплены с каркасом клеем, то станет ясным, что от его качества зависит прежде всего эксплуатационная надежность головки громкоговорителя.

2А-11	2А-9	25ГДН-4	25ГДН-5	1А-17	1А-16	5ГДВ-8
500×190	341×195	380×211	320×154	141×95	126×124×162*	108×94
15	13,5	8,7	4,9	6,0	7,3	3
—	—	—	—	0,6 ÷ 0,8	0,7 ÷ 0,8	0,5 ÷ 0,85
1961	1951	1961	1962	1959	1958	1955
		Самарканд. з-д «Кинап»		ЛОМО		Самарканд. з-д «Кинап»

формы, «т» — для работы в тропическом климате.

с высотой цилиндрической части 7,5 мм.
купола диафрагмы.
замкнутый виток толщиной 0,34 мм для головок 4А-32 и 4А-28;

ЮНД-4 ранее имел шифр АН-3 или АНМ (АЛНИ).
ного конуса, указано: диаметр вершины — диаметр основания.

Практика показала, что из промышленных сортов клея наиболее пригоден для ремонта головок нитроклей марки АК-20 и клей БФ-4.

Применение суррогатных клеев приводит к заметному ухудшению механической, а иногда и электрической (с точки зрения изоляционных свойств) надежности отремонти-

Электроакустические и электрические данные

Основные данные	4А-32	4А-28	4А-27; 4А-27т	4А-24; 4А-24 т
Назначение головки	Широкополосная			
Максимальная мощность, <i>вт</i>	12	6		3
Номинальный диапазон частот, <i>гц</i>	40 ÷ ÷16 000	70 ÷ ÷14 000	70 ÷ ÷10 000	150 ÷ ÷10 000
Неравномерность, <i>дб</i>	12	16		12
Частота собственного резонанса подвижной системы, <i>гц</i>	40	50 ÷ 70		70 ÷ 125
Индукция в воздушном зазоре магнитной цепи, <i>гс</i>	11 000	8000		6000
Марка провода	ПЭЛ*			
Диаметр провода, <i>мм</i>	0,18	0,16		0,12
Число витков	130	158		88
Число слоев	2	4		2
Высота намотки, <i>мм</i>	13,5	8		6,5
Вес обмотки, <i>г</i>	5,8	2,5		2,3
Номинальное сопротивление, <i>ом</i>	16	15		13
Сопротивление постоянному току, <i>ом</i>	12	11,5		12

* — В тропическом исполнении.

* Провод медный.

** Провод алюминиевый.

головки кинотеатральных громкоговорителей

Таблица 8

2А-11	2А-9	25ГДН-4	25ГДН-5	1А-17	1А-16	5ГДВ-8
Низкочастотная				Высокочастотная		
25		15		12		
35 ÷ 3000	40 ÷ 1000	60 ÷ 5000	60 ÷ 5500	800 ÷ ÷12 000	500 ÷ ÷12 000	500 ÷ ÷8000
16				14	12	16
25 ÷ 40	35 ÷ 55	50 ÷ 65	55 ÷ 70	—	—	—
9500		9000	7900	17 000	18 000	17 000
				ПЭАТ**		
0,27		0,2	0,11	0,15	0,11	
121	240	240	178	58	42	54
4	4	4	4	2	2	2
9,5	18	19	11	3,6	4,2	3,6
11,34	25	25,1	7	0,4	0,5	0,4
15	18	15	16	26	20	26
12		12,5		20	12	20

рованного громкоговорителя. Следует также предостеречь от использования бакелитовых и шеллачных клеев. Первые из них пригодны только в случае, если произошел процесс полимеризации клея, что требует высоких температур и давлений. Вторые вообще не могут быть рекомендованы, так как кроме высоких изоляционных свойств не удовлетворяют всем остальным требованиям, особенно механической прочности.

Нельзя применять карбинольные клеи, так как обычно в их состав вводится 1—2% азотной кислоты для ускорения процесса застывания.

Ремонт акустического оформления громкоговорителей, изготовленных из фанеры, требует применения глинистых или казенных клеев.

Глинистый клей, мездровый и костный, известный в продаже под названием желатины или столярного клея, выпускается пяти сортов: экстра, высший, первый, второй и третий. Три первых сорта дают наилучшие результаты при склеивании древесины.

Казеиновый клей — обезжиренный сушеный творог, обработанный щелочами и окисями, — в сравнении со столярным клеем имеет существенный недостаток — большую гигроскопичность. Поэтому использование его может быть рекомендовано только при ремонте оформления стационарных громкоговорителей.

Обмоточные провода. Обмоточные провода в громкоговорителях применяются только в эмалевой изоляции круглого сечения, номенклатура диаметров их сравнительно небольшая (см. табл. 8).

Во всех головках, широкополосных и низкочастотных, применяется медный обмоточный провод; в высокочастотных головках для звуковых катушек используется алюминиевый провод. Марки обмоточных проводов должны соответствовать данным табл. 8.

Выводные провода. В головках громкоговорителей может встретиться необходимость замены двух разновидностей выводных концов:

а) выводные провода от концов провода звуковой катушки к клеммной колодке головки или неподвижной опорной точке на ней;

б) выводные провода от клеммной колодки головки или опорной точки к внешним клеммам громкоговорителя.

Для всех указанных типов выводов следует рекомендовать марки проводов, приведенные в табл. 11.

Таблица 9

Основные конструктивные данные передвижных громкоговорителей

Основные данные	Тип громкоговорителя					37ГД-1*
	25А-13	25А-17**	25А-21	25А-34	25А-40**; 25А-40г	
Тип акустического оформления, материал	Экранированный ящик — фанера 10 мм толщиной					Закрытый ящик, фанера 10 мм толщиной
Отделка корпуса громкоговорителя	Оклеен искусственной нитроцеллюлозой		Окрашен, ребра окантованы стальными уголком		Шпаклеван, окрашен	Шпаклеван, окрашен нитроэмалью
Габариты громкоговорителя, см	47,0 × 55,5 × 24,8	56,2 × 46,2 × 25,2	39,0 × 38,4 × 22,0	48,0 × 61,0 × 23,6	54,2 × 39,3 × 29,8	58,5 × 43,0 × 20,5
Вес громкоговорителя, кг	18,5	14,6	9,4	22,0	13,5	17
Диаметр отверстия в ящике, мм	232		181	232		280
Способ крепления головки громкоговорителя	За обод диффузордержателя винтами к передней стенке ящика					
Количество крепежных отверстий; диаметр центров, мм	4; 246		4; 192	4; 246		8; 307
Диаметр крепежных отверстий, мм	6,0		5,5	6,0		4,3

* — В тропическом исполнении.

** Ящик громкоговорителя 37ГД-1 внутри заполнен поглотителем — базальтовой ватой (стекловолокно). Ящик состоит из двух половин, разнимаемых по диагонали боковых сторон.

Основные конструктивные данные стационарных

Основные данные	Тип громко			
	30А-13	30А-14	30А-15	30А-30
Общие габариты громкоговорителя, см	246×210*×210	108×73×46	170×136,5×91	
Вес громкоговорителя, кг	370	60	300	
Тип акустического оформления н.-ч. звена	Прямой экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинвертор + экран	Ящик-фазоинвертор	Экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинвертор	
Конструкция и материал н.-ч. звена	Деревянный каркас, обшитый			
Тип акустического оформления в.-ч. звена	Прямой экспоненциальный рупор с акустической линзой			
Способ размещения в.-ч. звена	На н.-ч. звене	Встроено в н.-ч. ящик	На н.-ч. звене	
Метод крепления н.-ч. головки	Прижимным винтом в торец магнитной цепи; положение головки зафиксировано угловыми планками	Накладными обод диффузителя; положение фиксируется угловыми планками (2А-9 — 2 шт.; 4 шт.)		

кинотеатральных громкоговорителей

Таблица 10

говорителя							
30А-32	30А-42	30А-46	30А-62	30А-64	30А-66	30А-68	25ГДД-1
116×73×46	98×49×36	324×138×102	170×137×91	180×142×110	116×73×46	108×73×47,4	
60	40	615	315	325	65	85	
Ящик-фазоинвертор		Прямой экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинвертор			Ящик-фазоинвертор		

фанерой толщиной 2 мм

Рупор цилиндрического фронта волны	Не имеет	Рупор цилиндрического фронта волны		Экспоненциальный рупор с акустической линзой
Врезано в верхнюю стенку н.-ч. ящика	—	На н.-ч. звене	Врезано в верхнюю стенку н.-ч. ящика	Встроено в н.-ч. ящик
скобами за зорoderжание головки фиксируется угловыми планками 2А-11 —	Винтами к передней стенке ящика за приливы на диффузорoderжателя	За обод диффузорoderжателя; положение головки фиксируется угловыми планками (2А-9 — 2 шт., 2А-11 — 4 шт.)		Прижимным винтом в торец магнитной цепи; фиксируется планками

Основные данные	Тип громко			
	30А-13	30А-14	30А-15	30А-30
Диаметр отверстия в щите для в.-ч. головки, см	32,0			
Диаметр центров крепежных отверстий, их диаметр (см); количество	—		4,24;	
Метод крепления в.-ч. головки к рупору	Болтами к офланцованной горловине			
Диаметр выходного отверстия в.-ч. головки, см	2,73			2,7
Диаметр крепежных отверстий, количество, диаметр центров, см	М5 × 4; 8,4			М5 × 3;

* Без приставных акустических экранов ширина громкогово

Таблица 11

Провода для выводных концов

Назначение выводного конца	Марка провода	Сечение, мм ²
Соединение провода мотки звуковой катушки с клеммной колодкой головки	МГШД; МГШ	20 × 0,05* или 15 × 0,05
Соединение головки с входными зажимами громкоговорителя, внутренний монтаж в громкоговорителе (при наличии фильтра, трансформатора и т. п.)	ПМВГ	0,35—0,5

* Первая цифра — количество жилок, вторая — сечение жилки

говорителя	говорителя							
	30А-32	30А-42	30А-46	30А-62	30А-64	30А-66	30А-68	25ГДД-1
			30,0	41,0	32,0	41,0		32,0
0,7; 2			32,6; 0,6; 4	54,1; 0,65; 2	42,4; 0,7; 2	54,1; 0,65; 2	42,4; 0,7; 2	—
рупора			—	Болтами к офланцованной горловине рупора				
			—	2,73	2,7	2,73	2,7	2,8
6,0			—	М5 × × 4; 8,4	М5 × × 3; 6,0	М5 × × 4; 8,4	М5 × 3; 6,0	М4 × 4; 8,4.

рителя равна 130 см.

Выводы первого типа, закрепленные одним концом на подвижной системе, а другим на неподвижной клеммной колодке, испытывают наиболее тяжелую деформацию. В то же время их прочность обеспечивает эксплуатационную надежность головки громкоговорителя. Поэтому указанные марки проводов и их данные должны строго выдерживаться.

Единственно допустимым отклонением для диффузорных головок может быть применение так называемого щеточного провода при условии, если выдержаны указанные в таблице число и диаметр жилок. Следует особое внимание обращать на хорошее скручивание или сплетение такого самодельного выводного конца.

П р и п о и. В громкоговорителях, как и вообще в радиоаппаратуре, нельзя пользоваться суррогатными припоями и так называемыми паяльными смесями, так как они, как правило, содержат кислотные примеси и не обеспечивают надежности контакта.

Для надежной пайки алюминиевых проводов звуковой обмотки высокочастотных головок с выводными медными

концами необходимо использовать специальные сорта припоя.

В табл. 12 приведены основные данные по промышленным маркам припоя. Во всех случаях в качестве флюса может использоваться только канифоль.

Таблица 12
Сорта и состав припоев

Наименование и марка припоя	Химический состав*, %	Назначение
Оловяно-свинцовый ПОС-61	Sn = 59—60 Sb = 1,5—2 Pb — остальное	Особо ответственные пайки
Оловяно-свинцовый ПОС-40	Sn = 39—40 Sb = 1,5—2 Pb — остальное	Пайка выводов и монтаж всех видов
Цинково-оловянный с кадмием № 1	Zn = 25 Sn = 55 Cd = 20	Для облуживания алюминиевого провода (пайка затем ведется ПОС-40)
Цинково-оловянный № 2	Zn = 25 Al = 15 Sn = 40 Cd = 20	

* Sn — олово; Sb — сурьма; Pb — свинец; Zn — цинк; Cd — кадмий; Al — алюминий.

Бумага. При ремонте громкоговорителей может применяться бумага следующих сортов:

а) оклеечная (непропитанная) конденсаторная бумага толщиной от 0,007 до 0,024 мм для изоляции провода звуковой обмотки и выводных концов от металлического каркаса звуковой катушки;

б) кабельная бумага типа К-12 (толщиной 0,12 мм) или пропиточная бумага (толщиной 0,12 мм) для каркасов звуковой катушки. Пропиточная бумага предпочтительнее, так как имеет малый допуск на изменение толщины ($\pm 0,01$ мм вместо $\pm 0,07$ для кабельной бумаги), но требует пропитывания бакелитовым лаком;

в) диффузная бумага или промокательная (толщиной 0,15—0,25 мм) для восстановления порванных диффузоров.

Разный подсобный материал:

а) цветные нитки № 10 (бумажные или шелковые) для расцветки выводов;

б) цветная линоксиновая или полихлорвиниловая трубка различного сечения для изоляции выводов;

в) крученая пряжа малых номеров для бандажей;

г) крепежные изделия.

Перечисленные подсобные материалы далеко не исчерпывают того ассортимента, который должен иметься в мастерской, ведущей крупные ремонтные работы. Этот перечень является тем минимумом, который необходим для качественного ремонта и наличие которого обязательно даже в мелких мастерских.

Отступления от рекомендованных сортов материалов в практике могут допускаться, однако при этом необходимо обращать внимание на соответствие между качеством материала-заменителя и требованиями к той детали, которая должна быть из него изготовлена.

Если замена ухудшит качественные показатели и эксплуатационные свойства громкоговорителя, она не может быть допущена.

§ 3. Особенности ремонта громкоговорителей

Киноремонтные мастерские накопили достаточно большой опыт по ремонту головок прямого излучения. Поэтому ниже мы разбираем лишь общие, принципиально важные вопросы, имеющие решающее значение в обеспечении высокого качества работы.

Ремонт головок рупорных громкоговорителей изложен более подробно, так как они более сложны и имеют ряд конструктивных особенностей, отличающих их от громкоговорителей прямого излучения.

Моточные работы

Перемотка звуковых катушек связана с рядом специфических особенностей. Основная из них — правильное проклеивание клеем, обеспечивающее механическую и элек-

трическую надежность. Так как клей АК-20 и БФ-4 быстро сохнут, при пользовании ими следует:

а) хранить клей в посуде с герметической крышкой в темном месте при нормальной комнатной температуре — не выше 20°. Крышку следует дополнительно заливать вязкой массой (сургуч, битум, компаунд, парафин или воск);

б) рабочая посуда должна иметь небольшой объем и плотно закрывающуюся пробку;

в) количество клея, которое берется из рабочей посуды, должно быть точно рассчитано на время непрерывной работы;

г) остаток клея, если он не загустел, должен быть слит обратно в рабочую посуду, а стаканчик или чашечка, которыми пользуются в момент проведения работ, вымыты растворителем.

На рабочем месте желательно иметь бюретки (химический стаканчик с притертой крышкой), в этом случае остаток клея можно не сливать: следует лишь следить за чистотой крышки и краев бюретки.

При пользовании клеем АК-20 надо помнить, что он токсичен, то есть вреден. Поэтому открывать стаканчик надо только при намотке, а помещение должно хорошо проветриваться.

При намотке звуковой катушки нельзя пользоваться загустевшим клеем; на каркасе не должно быть кусочков сухого клея, так как в этом и другом случаях механические свойства клея заметно ухудшаются. Из этих же соображений не следует накладывать клей толстым слоем.

При подготовке самой мотки и проведении ее необходимо соблюдать следующие правила:

а) каркас звуковой катушки должен быть тщательно очищен растворителем от старого клея;

б) сматывание провода должно вестись аккуратно, причем старый клей лучше размягчить растворителем, чтобы не повредить каркас;

в) старая изоляционная прокладка должна быть смыта и подклеена новая;

г) клей для проклеивания наматываемой обмотки должен быть жидким, в сравнении с заводской концентрацией степень разжижения его должна быть увеличена почти вдвое. Практически степень разжижения клея можно определить по характеру скатывания капель его с кисти: они должны отрываться сразу, не вытягиваясь;

д) намотка катушки ведется непрерывно от начала до конца; задержка при переходе от слоя к слою зависит только от времени, необходимого для смазывания клеем намотанного слоя;

е) клей наносится тонким слоем, примерно в половину диаметра провода, по всей поверхности каркаса или намотанного слоя. Слишком толстый слой клея вытесняется наматываемым проводом и собирается в крупные капли, которые затрудняют наблюдение за моткой и могут привести к пропускам;

ж) после мотки конец провода закрепляется, и вся поверхность обмотки при непрерывном вращении болванки покрывается еще раз ровным слоем клея.

В течение 2—2,5 мин после покрытия клеем болванка должна еще вращаться, так как за это время происходит первая фаза застывания клея, в противном случае образуются подтеки;

з) снимать звуковую катушку с болванки при клее АК-20 следует не раньше, чем через 45—60 мин после конца мотки, в течение которых происходит вторая фаза застывания клея, иначе можно нарушить прочность склеивания. Застывание клея должно происходить в условиях естественного испарения летучих примесей, ускорение подогреванием ухудшает качество клея. При клее БФ-4 болванку с катушкой надо термостатировать, то есть выдержать в среде с температурой 35—40° в течение 3—4 час;

и) для того чтобы не повредить катушку при снятии ее с болванки, удаляют растворителем клей, попавший с края каркаса на болванку. Для уменьшения сцепления клея с болванкой перед моткой ее смазывают автолом, машинным маслом и т. п.

К числу особенностей перемотки звуковой катушки относятся:

а) необходимость произвести мотку проводом такого же диаметра, что и у старой обмотки. Это связано с тем, что габариты катушек и их электрические данные должны быть строго выдержаны;

б) невозможность использования старого, то есть ранее смотанного, провода;

в) мотка на старом каркасе, то есть на собранной подвижной системе. Намоточный станок должен позволять закреплять на нем различные подвижные системы с диффузорами разного диаметра;

г) возможность перемотки только таких подвижных систем, которые не приклеиваются к диффузордержателю;

д) необходимость заделки концов звуковой катушки строго на старое место.

Во всех подвижных системах спайка концов обмотки с многожильным выводным проводником укрепляется на диффузоре. Поэтому во избежание порчи диффузора при пайке, вследствие прожигания паяльником, необходимо: снять старые выводы, отмочив растворителем и разрезав нитки, произвести пайку и вновь пришить по старым отверстиям, хорошо проклеить с обеих сторон диффузор в этом месте.

При перемотке звуковой катушки важно строго сохранить ее габаритные размеры.

Высота катушки задается шириной, нанесенной на каркасе профилированной канавки. Величина внешнего и внутреннего диаметров определяется диаметром болванки для мотки и толщиной звуковой катушки. Нарушение этих размеров приводит к невозможности центрирования системы в зазоре магнитопровода, так как просветы между катушкой и стенками зазора бывают не более 0,25—0,35 мм.

Поэтому необходимо особо тщательно подбирать материал для изготовления болванок, с тем чтобы избежать изменений величины их размеров при хранении.

Для этой цели болванки должны изготавливаться из металла, эбонита или твердых пород дерева (дуб, самшит). Дерево должно предварительно тщательно пропитываться парафином или маслом.

Поверхность болванки должна быть хорошо обработана, а размеры ее выдерживаются с максимально возможной точностью (величину их см. в табл. 7). Кроме того, для облегчения снятия катушки после намотки болванка должна иметь одностороннюю прорезь, а чтобы при мотке не происходило самопроизвольного, из-за прорези, сжатия болванки вследствие давления со стороны провода, ее следует выполнять по схеме рис. 125.

Следует помнить, что диаметр болванки с затянутой гайкой должен быть равен внутреннему диаметру звуковой катушки.

Практика показала, что наиболее пригодны для работы с клеем колонковые кисти, затем кисти из суслика-песчаника; при необходимости использовать беличьи кисти надо следить, чтобы не оставалось в клее и на детали волосков от кисти. Щетинные кисти применять нельзя.

Важно иметь хороший зажим кисти в мундштуке, которую можно дополнительно укрепить нитками у основания.

Для работы удобны кисти малых номеров (до № 7), более широкими кистями работать неудобно.

Перемотка звуковых катушек является тонкой операцией, требующей навыка, спокойной обстановки и хорошего освещения рабочего места. Для уменьшения утомляемости зрения следует применять линзы диаметром 60—100 мм с 2—3-кратным увеличением или головные биноклярные лупы типа БЛ-1.

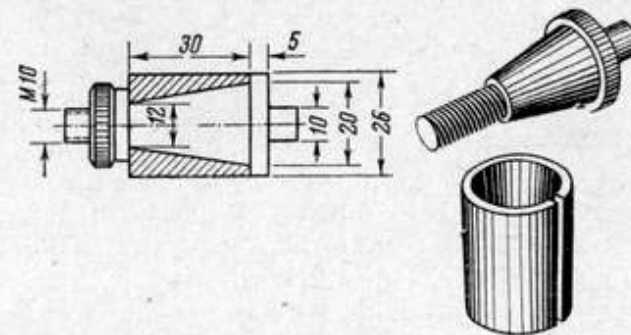


Рис. 125. Примерная конструкция болванки для мотки звуковых катушек (размеры в мм даны ориентировочно, уточняются для каждого типа головки)

Ремонт диффузоров

Ремонт диффузоров заключается в устранении трещин, небольших отверстий, вмятин. Во всех более серьезных случаях порчи диффузора подвижная система должна заменяться новой.

При проведении мелкого ремонта диффузоров необходимо придерживаться следующих правил:

а) для заделки небольших отверстий употреблять тонкую мягкую непроклеенную бумагу: диффузорная, фильтровальная или промокательная. Хорошие результаты получаются при использовании кусков от старых диффузоров. Обычно эти куски расслаиваются на две-три части;

б) рваные края отверстия должны быть сближены, причем края и всю ремонтируемую поверхность покрывают клеем. Степень разжижения клея такая же, как и при проклейке звуковой катушки;

в) если отверстия очень малы и края примыкают, заплатку можно ставить с одной стороны, во всех остальных случаях ее ставят с обеих сторон;

г) при небольшой вмятине необходимо ее и прилегающий участок диффузора пропитать клеем, причем степень пропитывания должна уменьшаться к краям вмятины;

д) заделка сквозной трещины или небольшого отверстия в гофре должна производиться возможно более тонким слоем бумаги. Надо внимательно следить за тем, чтобы наклеенный кусочек бумаги нигде не нарушал профиля гофра;

е) если вершина диффузора смята, необходимо тщательно прогладить ее, а затем пропитать очень жидким клеем до насыщения; степень насыщения клеем должна постепенно уменьшаться от пропитанного участка к остальной части диффузора.

В практике бывает, что неисправность диффузора вызвана не механическим повреждением, а провисанием гофра. При этом звуковая катушка сильно смещается в зазоре магнитной системы, что приводит к росту искажений и уменьшению отдачи головки при ее работе. Провисание возникает либо при неудачном профиле гофра, приводящем к возникновению внутреннего напряжения, создающего провисание, либо при хранении головки в сыром месте. Ремонт такой головки должен сводиться к замене подвижной системы.

Переборка диффузорных головок

Переборка диффузорных головок может быть необходимой либо при замене подвижной системы, либо при очистке зазора от попавших туда частиц.

Как уже указывалось, большинство головок, выпускаемых заводами киноаппаратуры, имеет подвижную систему, которая прикреплена к диффузородержателю. Поэтому съем подвижной системы сводится к освобождению ее от крепежных устройств, необходима лишь аккуратность, чтобы сорвавшийся ключ или отвертка не повредили диффузор.

Для съема подвижной системы вначале освобождают центрирующую шайбу, а затем воротник диффузора. При установке ее операции производят в обратном порядке, следя за тем, чтобы при закреплении воротника диффузора звуковая катушка не касалась стенок зазора. Окончательное центрирование производят при закреплении центрирующей шайбы, что требует навыка, так как зазор закрыт пылезащитным колпачком. При правильном положении

катушки при покачивании подвижной системы равномерным давлением трех пальцев на вершину диффузора или на края высокочастотного конуса не должно слышаться шорохов.

При установке запасной подвижной системы, колпачок которой придается не вклеенным, центрирование производят на глаз или по шаблону (обычно два-три слоя пленки), а затем тщательно вклеивают колпачок.

Для очистки зазора магнитную цепь разбирать нельзя, так как после ее сборки необходимо вновь намагнитить магнит на мощной установке постоянного тока, какой в мастерских нет. Обычно вначале в зазор вводят тонкий щуп, обернутый липкой лентой (изоляционная, медицинский пластырь), и круговыми движениями собирают застрявшие в нем частицы, меняя два-три раза ленту. Убедившись, что они удалены, на щуп натягивают тонкую чистую не ворсистую ткань или два-три слоя марли, промывают зазор ацетоном и слегка смазывают жидким машинным маслом.

В отличие от всех ранее выпускавшихся головок новая высококачественная широкополосная головка 4А-32 имеет существенные конструктивные отличия.

Во-первых, подвижная система центрирующей шайбой и воротником склеена с диффузородержателем на специальном приспособлении, обеспечивающем правильное и осное положение звуковой катушки в воздушном зазоре магнитной системы при последующей сборке.

Во-вторых, совсем по-иному и оригинально решена задача центрирования. Для этой цели в литом диффузородержателе сделана калиброванная проточка высотой 10 мм, в которую при сборке головки входит заранее собранная магнитная система (рис. 126).

Так как точность приспособлений и допуск на расточку высокий, то при соединении двух узлов звуковая катушка автоматически центрируется. После соединения диффузородержатель свинчивается с верхним фланцем.

В связи с такой конструкцией в качестве запасной детали к головкам 4А-32 будут поставляться не подвижная система, а весь узел в сборе, то есть диффузородержатель плюс подвижная система.

В готовящийся к производству в настоящее время новой модели низкочастотной головки 2А-12 принцип сочетания двух заранее юстированных основных узлов без последующего юстирования развит еще дальше (см. Приложение V).

В заключение заметим, что если по каким-либо причинам в мастерской возникнет необходимость в дальнейшем организовать сборку узла диффузордержатель — подвижная система головок 4А-32, то необходимо заказать Ленинградскому оптико-механическому объединению (ЛОМО) весь комплект приспособлений для исполнения этой операции или по крайней мере получить чертежи на них.

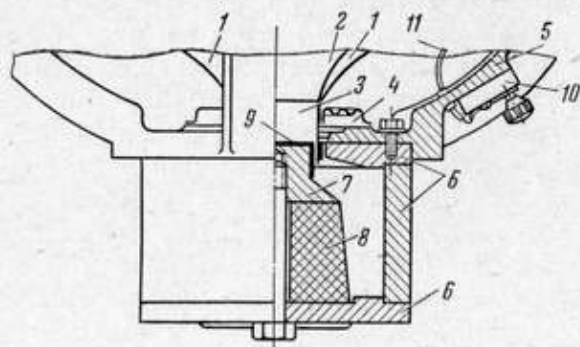


Рис. 126. Сборка двух основных конструктивных узлов головки 4А-32:

1 — основной диффузор; 2 — дополнительный (в.ч.) диффузор; 3 — каркас звуковой катушки; 4 — центрирующая шайба; 5 — диффузордержатель; 6 — магнитная цепь; 7 — керн; 8 — магнит; 9 — медный колпачок (короткозамкнутый виток); 10 — клеммная колодка; 11 — выводной конец звуковой катушки

Ремонт рупорных высокочастотных головок

Особенности ремонта рупорных высокочастотных головок связаны с резким отличием их конструкции от конструкции головок прямого излучения, а также различием в материалах, идущих на изготовление подвижной системы.

В настоящее время в эксплуатации находится три типа рупорных головок — высокочастотные головки 1А-16, 1А-17 и 5ГДВ-8. Конструкции этих головок подробно разобраны в главе 4, а конструктивные и электрические данные приведены в табл. 7 и 8.

Рассмотрим особенности проверки и ремонта этих головок.

Проверка центрирования подвижной системы и чистоты зазора. При такой проверке необходимо обеспечить доступ к подвижной системе. Для этого в головках надо отвинтить четыре винта,

которыми защитная пластмассовая крышка 10 прикреплена к верхнему фланцу 4 магнитной системы (рис. 91 и 95).

Для проверки центрирования подвижной системы надо осторожно привести диафрагму в движение периодическим легким нажатием четырех пальцев на ее купол. Пальцы должны быть расположены равномерно по поверхности сферы купола и возможно ближе к периферии.

Надо помнить, что диафрагма изготовлена из фольги толщиной 0,06 мм, поэтому при сильном нажатии купол можно продавить. Если при покачивании диафрагмы не слышно шороха, а края звуковой обмотки равномерно движутся по отношению к краю отверстия в верхнем фланце магнитной системы, то подвижная система отцентрирована.

При нарушении центрирования будет слышен шорох от трения диафрагмы о керн либо край диафрагмы вообще не будет двигаться. При движении подвижной системы могут быть слышны потрескивания, царапанье или прерывистый шорох. Это свидетельствует о том, что в зазоре мусор и опилки.

В головках 1А-16, 1А-17 и 5ГДВ-8 для осмотра зазора необходимо снять с верхнего фланца подвижную систему.

Во всех головках диафрагма приклеена к металлическому кольцу, которое ее центрирует и задает требуемую величину предрупорной камеры, а сверху прижимается пластмассовым кольцом на винтах (поз. 7, рис. 91 и 95).

Для того чтобы снять подвижную систему, прежде всего надо отпаять выводные концы от входных клемм головок. Отпаивать эти концы на переходных лепестках, запрессованных в пластмассовое кольцо, не рекомендуется, так как при этом может быть нарушен контакт выводов, приходящих на эти же лепестки от звуковой катушки.

После отпайки концов отворачивают прижимные винты и снимают пластмассовое кольцо. Затем подвижную систему осторожно подают вверх, пока не отпустят ее центрирующие приспособления, а затем ее снимают.

В головках 1А-17 и 5ГДВ-8 первое движение системы производится обычно отверткой, упирающейся одним краем в выступающую часть центрирующего кольца (рис. 65), а другим — в поверхность верхнего фланца. Операция эта производится осторожно, с тем чтобы не повредить купол диафрагмы или звуковую катушку.

В головке 1А-16 нижнее металлическое кольцо плотно сидит на центрирующих шпильках. Поэтому вначале между кольцом и верхним фланцем у основания одной из шпилек

надо ввести тонкий прочный предмет (лезвие ножа, конец остро заточенной отвертки или специальный съемник). Затем, зафиксировав щель прокладкой или шупом, ту же операцию надо проделать на остальных шпильках. Такие манипуляции проделывают несколько раз, пока трение кольца о шпильки уменьшится настолько, что кольцо с диафрагмой может быть поднято вверх вручную.

Снятую подвижную систему не рекомендуется класть прямо на стол, лучше иметь специальную подставку с внешним диаметром, равным диаметру воротника диафрагмы, внутренним диаметром, несколько большим внешнего диаметра звуковой катушки и высотой порядка 8—10 мм. На эту подставку кладут подвижную систему куполом диафрагмы вверх.

Для чистки зазора с помощью шупа, в качестве которого может быть использован кусочек киноплетки или плотной бумаги, частицы собирают в одно место круговым движением по зазору, а затем осторожно извлекают на край его; для удаления частиц можно пользоваться пластырем или изоляционной лентой. После чистки зазор необходимо протереть вначале ацетоном, а потом хорошего качества машинным маслом.

Еще раз следует напомнить, что разбирать магнитную систему с постоянным магнитом нельзя.

После чистки зазора подвижную систему ставят обратно на головку, а операции проводят в обратном порядке по отношению к описанным выше. То же самое проделывают, если подвижная система заменялась.

В головках 1А-17 и 5ГДВ-8 центрирование подвижной системы обеспечивается специальной выточкой в верхнем фланце магнитной системы, в которую входит нижнее металлическое кольцо. В головке 1А-16 те же функции выполняют металлические шпильки, запрессованные во фланец.

Расцентрирование головок может произойти в результате сильного удара ребром магнитной цепи при падении. В этом случае попытка снять подвижную систему может вывести из строя звуковую катушку. Положение можно попытаться исправить ударами киянкой — деревянным молотком — по торцевой стороне верхнего фланца. После приведения головки в нормальное состояние подвижная система должна быть снята и внимательно осмотрена. Поврежденную систему заменяют запасной.

Если причиной ремонта головки явилось наличие в зазоре металлических опилок, то осмотру подвергается обя-

зательно звуковая катушка, так как провод ее может быть поврежден. Подвижную систему с такой катушкой заменяют.

Вмятину на куполе устраняют легким нажимом на нее, после чего надо тщательно прогладить поверхность купола так, чтобы следы вмятины стали почти незаметны. Такую головку обязательно нужно внимательно испытать на воспроизведение скользящего тона, так как исправленная вмятина может быть причиной дребезжания.

Перемотка звуковых катушек

Перемотка звуковых катушек подвижных систем высокочастотных головок значительно более сложна, чем в обычных громкоговорителях, требует высокой квалификации намотчика и специальных приспособлений. Это объясняется рядом следующих особенностей:

1) необходимостью применения только алюминиевого провода; замена медным проводом приводит к резкому снижению отдачи высоких частот и не может быть допущена;

2) меньшей механической прочностью алюминиевого провода в сравнении с медным, требующей особой аккуратности в работе;

3) необходимостью специальной заделки выводных концов, связанной с переходом от одножильного тонкого алюминиевого провода к многожильному выводному концу.

Поэтому вряд ли можно рекомендовать производить перемотку звуковых катушек высокочастотных головок в условиях киноремонтных мастерских, тем более что получение заводских подвижных систем в достаточном количестве вполне реально в существующих сегодня условиях.

§ 4. Контроль качества ремонтных работ

Контроль качества ремонтных работ является обязательным и призван обеспечить надежность работы отремонтированной головки громкоговорителя в эксплуатации.

В качестве контролера должен использоваться наиболее опытный работник мастерской, имеющий достаточный стаж работы и хорошо знакомый со всеми особенностями различного вида ремонта громкоговорителей.

На рис. 127 приведена схема контроля отремонтированной головки громкоговорителя, состоящая из четырех следующих друг за другом этапов.

Проверка должна начинаться с внешнего осмотра отремонтированной головки, который необходим для определения качества произведенного ремонта (состояние паек, заделка концов, устранение повреждений и т. п.), а также для установления отсутствия пропущенных мелких дефектов. При внешнем осмотре проверяется центрирование



Рис. 127. Схема операций контроля отремонтированной головки

подвижной системы и отсутствие посторонних частей, в частности металлических опилок в зазоре.

Электрические измерения имеют целью проверку сопротивления постоянному току моточных деталей. Для этих измерений используются те же самые приборы, что и при аналогичных проверках в усилительной аппаратуре.

Кроме того, обязательна проверка сопротивления изоляции с помощью меггера; она целесообразна даже тогда, когда моточ-

ные детали не ремонтировались, чтобы иметь полную уверенность в электрической надежности головки. Прослушивание скользящим тоном — наиболее надежный метод проверки головки для установления, возникает ли дребезжание и другие посторонние призвуки. Он заключается в подаче на испытываемую головку непрерывно изменяющегося по частоте синусоидального напряжения в диапазоне 40—10 000 гц.

Для проведения такого испытания используются звуковой генератор и усилитель контрольного тракта. Прослушивание ведется при подведении к звуковой катушке головки громкоговорителя сигнала, соответствующего его номинальной мощности.

Напряжение, соответствующее номинальной мощности, контролируется прибором типа ТТ-1, АВО-5, ЛВ-9М на выходе усилителя. Величина его устанавливается по частоте 400 гц для однополосных головок, 200 гц — для

низкочастотных и 2000 гц — для высокочастотных головок.

Изменение частоты на генераторе производится от руки медленным и непрерывным вращением рукоятки конденсатора с такой скоростью, чтобы весь цикл прослушивания (40—10 000 гц и обратно) занимал 1—2 мин.

При прослушивании следует внимательно фиксировать появление посторонних призвуков, отмечая их частоту и интенсивность; в сомнительных случаях лучше сравнивать с контрольной или эталонной головкой.

Высокочастотные головки должны прослушиваться на частотах от 500—600 гц и выше, так как на более низких частотах может произойти повреждение диафрагмы из-за роста амплитуд колебаний.

При таком прослушивании следует помнить, что призвуки могут появиться не из-за дефекта громкоговорителя, а вследствие возбуждения колебаний в тех или иных предметах, находящихся в комнате. Поэтому при появлении призвука нужно прежде всего убедиться, действительно ли его источником является громкоговоритель.

Если прослушивание выявило плохое звучание при воспроизведении тонального (синусоидального) сигнала, то головку возвращают на повторный ремонт, установив причину, вызывающую появление призвука. Весьма часто мелкие дефекты (вибрация выводных концов, плохое закрепление крепежных деталей, неплотное прикрепление воротника диффузора к диффузородержателю и т. п.) могут быть легко устранены контролером.

Последний этап контроля — субъективная оценка качества (см. рис. 12, глава 1) — является весьма ответственным, так как заменяет собой измерение электроакустических характеристик. Организация последних в условиях мастерских невозможна, поскольку требует наличия парка сложной измерительной аппаратуры и создания специальных акустических звукомерных камер или полигонов на открытом воздухе. Поэтому к организации этого этапа необходимо отнестись со всей серьезностью, понимая, что ошибки суждения оцениваемого качества могут дискредитировать работу громкоговорителя в эксплуатации.

Наиболее правильным является создание специального контрольного звуковоспроизводящего тракта, смонтированного стационарно и используемого только по своему прямому назначению.

Такой тракт должен состоять из хорошо отъюстированного проектора или магнитофона, усилительного устройства мощностью 20—40 *вт*, имеющего хорошие качественные показатели, и набора эталонных головок, соответствующих по типам ремонтируемым.

Сложнее обстоит дело с акустическим оформлением. Обязательным условием прослушивания является сравнение головок, работающих в одинаковых акустических оформлениях. В то же время практически нереально рекомендовать мастерской набор типов оформления, применяемых в кинотеатральных громкоговорителях.

В качестве компромиссного выхода можно рекомендовать для целей прослушивания использовать фазоинверсные ящики от громкоговорителей 30А-15, 25ГДД-1 или же изготовить аналогичные по объему. Заводские ящики или изготовленные силами мастерской должны быть приспособлены для размещения головок различного типа, а именно:

1) отверстие для н.-ч. головки увеличивают до таких размеров, чтобы в него входила снаружи головка 2А-11, не цепляясь ребрами диффузородержателя за его края;

2) изготавливают сменные щитки с отверстиями под широкополосные и низкочастотные головки различных типов и средствами их крепления;

3) в передней стенке ящика заделывают четыре болта для последующего закрепления на них сменных щитков с вмонтированными в них головками;

4) высокочастотный рупор демонтируют;

5) на ящиках устанавливают однотипные высокочастотные рупоры, оборудованные сменными переходными приспособлениями для присоединения головок всех трех типов.

Такое комбинированное оформление позволяет однотипные головки сравнивать в одинаковых акустических условиях.

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. Термины, определения, понятия

1. **Головка громкоговорителя** — самостоятельный конструктивный элемент громкоговорителя, предназначенный для преобразования сигналов звуковой частоты из электрической формы в акустическую. *Головка прямого излучения* излучает звуковые колебания непосредственно в окружающее пространство. *Рупорная головка* излучает звуковые колебания через акустический трансформатор и рупор.

2. **Рабочий центр головки** — точка, лежащая в плоскости основания конуса диффузора для головок прямого излучения или в плоскости устья рупора для рупорных головок.

3. **Рабочая ось головки** — воображаемая прямая, перпендикулярная плоскости излучающего отверстия и проходящая через рабочий центр головки.

Рабочая ось широкополосного громкоговорителя совпадает с рабочей осью головки, если она одна. При двух и более головках рабочая ось также перпендикулярна плоскости излучающих отверстий головок, но проходит через центр симметрии, то есть через точку, равноудаленную от рабочих центров головок.

Для двухполосных громкоговорителей рабочая ось совпадает с линией, проходящей через центр симметрии высокочастотных излучателей, перпендикулярной плоскости их излучающих поверхностей.

4. Частота основного (механического) резонанса головки — частота, на которой модуль полного электрического сопротивления головки имеет первый по частоте основной максимум.

5. Номинальное сопротивление громкоговорителя (головки) — величина активного сопротивления, которым замещается громкоговоритель (головка) при измерении электрической мощности, потребляемой им от источника питания. В качестве номинального сопротивления принимается наименьшее значение модуля полного электрического сопротивления громкоговорителя (головки) в диапазоне частот выше частоты основного резонанса.

6. Частотная характеристика громкоговорителя (головки) — представленная в виде графика частотная зависимость звукового давления, которое громкоговоритель (головка) создает в условиях свободного поля при подведении синусоидального электрического сигнала с неизменным по частоте напряжением.

7. Номинальный (воспроизводимый) диапазон частот громкоговорителя (головки) — диапазон частот, который может эффективно воспроизводиться громкоговорителем (головкой).

Границы номинального диапазона определяются как частоты, в пределах которых измеренная на рабочей оси частотная характеристика имеет спад не более 10 дБ относительно среднего значения в той октавной полосе, в которой средняя чувствительность максимальна.

Пики и провалы в частотной характеристике, ширина которых у основания не более $1/8$ октавы, не учитываются.

Для головок прямого излучения в качестве нижней границы номинального диапазона частот принимается частота основного резонанса.

8. Нормированный ряд частот — частоты или средние частоты полос шумового сигнала, принятые в качестве обязательных для разработчиков измерительной аппаратуры и для испытателей громкоговорителей, являющиеся опорными точками слышимого спектра звуковых частот. Нормированный ряд составляют следующие частоты: 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000; 12 500; 16 000; 20 000 гц.

9. Среднее стандартное звуковое давление — среднеквадратичное из значений звукового давления, развиваемого громкоговорителем (головкой) на рабочей оси на расстоянии 1 м от рабочего центра при электрической мощности 0,1 Вт, на тех из частот (или в тех из полос со средними частотами) нормированного ряда, которые входят в номинальный диапазон частот измеряемого объекта.

10. Электрическая мощность громкоговорителя (головки) — мощность, рассеиваемая на активном сопротивлении, равном по величине номинальному сопротивлению головки, и напряжении, равном напряжению на зажимах громкоговорителя (головки).

Электрическая мощность может быть вычислена по номинальному сопротивлению громкоговорителя (головки) и среднеквадратичному значению напряжения на зажимах.

11. Номинальная мощность громкоговорителя (головки) — электрическая мощность, при которой обеспечена его длительная работа без механических или электрических повреждений и при которой общий коэффициент нелинейных искажений (или их общий уровень) не превосходит значений, допускаемых техническими условиями (ТУ) или другими нормативными документами.

12. Максимальная мощность громкоговорителя (головки) — электрическая мощность, указываемая в его (ее) паспорте.

Максимальная мощность — наибольшая неискаженная мощность усилителя, при питании от которого громкоговоритель (головка) может длительное время работать на обычном программном материале без механических или электрических повреждений.

13. Средняя акустическая мощность громкоговорителя (головки) — среднее арифметическое из значений излучаемой акустической мощности в тех из полос со средними частотами нормированного ряда, которые входят в номинальный диапазон частот громкоговорителя (головки). Акустические мощности во всех полосах должны соответствовать одинаковым электрическим мощностям.

14. Номинальный коэффициент полезного действия громкоговорителя (головки) — отношение излучаемой им (ею) акустической мощности к подведенной электрической мощности в заданной полосе частот.

15. Средний номинальный коэффициент полезного действия громкоговорителя (головки) — среднее арифметическое из значений номинального к.п.д. на тех из полос со средними частотами нормированного ряда, которые входят в его (ее) номинальный диапазон частот.

16. Общий коэффициент нелинейных искажений — выраженный в процентах квадратный корень из отношения акустической мощности создаваемого громкоговорителем (головкой) продукта нелинейных искажений при данной электрической мощности к средней акустической мощности, развиваемой громкоговорителем (головкой) при той же электрической мощности.

17. Общий уровень нелинейных искажений — общий коэффициент нелинейных искажений, выраженный в децибелах.

18. Октава — интервал, отделяющий одну частоту от вдвое большей (или вдвое меньшей) другой частоты. Частоты, заполняющие этот интервал, образуют спектр частот шириной в одну октаву.

Октава является основной принятой в музыке ступенью изменения высоты тона. Все слышимые частоты охватывают диапазон приблизительно в десять октав.

Наряду с октавной полосой в измерениях широко используются $1/3$ -октавные полосы, или терцполосы.

19. Среднее арифметическое значение — частное от деления суммы слагаемых величин на их количество.

20. Среднее геометрическое значение — корень квадратный из произведения всех величин, для которых находится средняя геометрическая величина.

21. Среднеквадратичное значение напряжения (тока) — значение постоянного тока, выделяющего в проводнике такое же количество теплоты, что и переменный ток (за одно и то же время). Среднеквадратичное значение часто принято называть эффективным значением напряжения (тока). Для синусоидального переменного тока среднеквадратичное значение напряжения (тока) в $\sqrt{2} = 1,41$ раз меньше амплитудного (максимального). Простейшим прибором для измерения среднеквадратичных значений является тепловой прибор, в котором поворот стрелки вызывается удлинением нити, которая нагревается проходящим через нее током.

22. Программный материал — записанный на любой носитель (фотографическая или магнитная фонограмма, грампластинка) или принятый микрофоном тракта звукоусиления звуковой сигнал натуральных источников звучания. Характеризует реальные условия работы громкоговорителя в отличие от режима испытательного, при котором к нему подводится синусоидальный или шумовой (см. Приложение IV) сигнал.

23. Децибел — относительная логарифмическая единица, принятая для оценки уровней электрических сигналов, отображающих акустические процессы и основные акустические величины — интенсивность звука, звуковое давление и плотность звуковой энергии. Равна логарифму соотношения искомых величин, умноженному на коэффициент 10 — для мощности, интенсивности и плотности или 20 — для напряжения, тока и давления.

По международным соглашениям в качестве нулевых уровней принято:

- а) интенсивность звука $I_0 = 10^{-12} \text{ вт/м}^2$;
- б) звуковое давление $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ н/м}^2$;
- в) плотность звуковой энергии $\epsilon_0 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ дж/м}^2$;
- г) электрическая мощность $P_{30} = 10^{-3} \text{ вт} = 1 \text{ мвт}$, что при стандартном сопротивлении $Z = 600 \text{ ом}$ определяет $U_0 = 0,775 \text{ в}$ и $i_0 = 1,29 \text{ ма}$.

Измеряемые в децибелах величины называются уровнями и вычисляются по формулам:

- а) уровень интенсивности звука $N = 10 \lg \frac{I}{I_0} \text{ дб}$;
- б) уровень звукового давления $N = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ дб}$;

в) уровень плотности звуковой энергии $N = 10 \lg \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \text{ дб}$;

г) уровень электрической мощности $N = 10 \lg \frac{P}{P_{30}} \text{ дб}$;

д) уровень напряжения $N = 20 \lg \frac{U}{U_0} \text{ дб}$;

е) уровень токов $N = 20 \lg \frac{i}{i_0} \text{ дб}$.

Заметим, что нулевые уровни I_0 , p_0 и ϵ_0 определены порогом чувствительности человеческого уха и называются стандартным порогом слышимости. В акустике встречаются еще две единицы — фон и сон.

Фон — единица измерения уровня громкости, совпадающая с числом децибел, измеряющим уровень звукового давления равногромкого эталонного тона:

$$L = 20 \lg \frac{P_{\text{эт}}}{2 \cdot 10^{-5}} \text{ фон.}$$

Методика измерений состоит в том, что субъективно сравниваются измеряемый звук с эталонным, уровень последнего наблюдатель меняет до тех пор, пока оба звука — измеряемый и эталонный — не будут казаться равногромкими.

По международному соглашению в качестве эталонного звука выбран синусоидальный тон частотой 1000 гц, приходящий прямо к наблюдателю в виде плоской волны.

Практика показала, что наряду с уровнем громкости желательно установить и такое измерение громкости, которое соответствовало бы способности слуха определять соотношение громкостей различных звуков или шумов. Было замечено, что довольно уверенно наблюдатели оценивают изменение громкости вдвое, когда уровень громкости меняется на 10 фон.

Сон — единица измерения громкости; громкость в 1 сон имеет звук с уровнем громкости 40 фон. Величина громкости определяется как функция уровня громкости по формуле:

$$S = 2^{\frac{L - 40}{10}} \text{ сон.}$$

24. Система единиц СИ — принятая по международным соглашениям система измерений всех физических величин, в основе которой лежит метр, килограмм и секунда, вместо ранее принятой системы СГС — сантиметр, грамм, секунда. Ниже в табл. I—I приведены наименования, условные обозначения некоторых величин в системе СИ и соответствующее значение их в системе СГС.

Таблица I—1

Система единиц СИ

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Содержит единиц системы СГС
Длина	метр	<i>м</i>	10^2 см (сантиметр)
Масса	килограмм	<i>кг</i>	10^3 г (грамм)
Время	секунда	<i>сек</i>	1 сек
Ток	ампер	<i>а</i>	$3 \cdot 10^9$
Сила света	свеча	<i>св</i>	—
Скорость	метр в секунду	<i>м/сек</i>	10^2 см/сек
Ускорение	метр в секунду за секунду	<i>м/сек²</i>	10^2 см/сек
Сила	ньютон	<i>н</i>	10^5 дин
Мощность	ватт	<i>вт</i>	10^7 эрг/сек
Давление	ньютон на квадратный метр	<i>н/м²</i>	10 бар
Напряжение э. д. с.	вольт	<i>в</i>	1/300
Электрическое сопротивление	ом	<i>ом</i>	$1/9 \cdot 10^{-11}$
Электрическая емкость	фарада	<i>ф</i>	$9 \cdot 10^{11}$ см
Индуктивность	генри	<i>гн</i>	10^9 см
Магнитный поток	вебер	<i>вб</i>	10^8 максвелл
Магнитная индукция	вебер на квадратный метр	<i>вб/м²</i>	10^4 гс (гаусс)
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	<i>а/м</i>	$10\pi \cdot 10^{-3}$ э (эрстед)
Световой поток	люмен	<i>лм</i>	—
Яркость	нит	<i>нт</i>	—
Освещенность	люкс	<i>лк</i>	—

II. Переводы в проценты значений к. п. д. и уровня нелинейных искажений, выраженных в децибелах

Таблица II—1

К. п. д. и уровень нелинейных искажений, дБ	К. п. д., %	Коэффициент нелинейных искажений, %	К. п. д. и уровень нелинейных искажений, дБ	К. п. д., %	Коэффициент нелинейных искажений, %
0	100,00	100,00	-20	1,000	10,000
-1	79,43	89,13	-21	0,794	8,913
-2	63,10	79,43	-22	0,631	7,943
-3	50,12	70,79	-23	0,501	7,079
-4	39,81	63,10	-24	0,398	6,310
-5	31,62	56,23	-25	0,316	5,623
-6	25,12	50,12	-26	0,251	5,012
-7	19,95	44,67	-27	0,200	4,467
-8	15,85	39,81	-28	0,159	3,981
-9	12,59	35,48	-29	0,126	3,548
-10	10,00	31,62	-30	0,100	3,162
-11	7,94	28,18	-31	0,079	2,818
-12	6,31	25,12	-32	0,063	2,512
-13	5,01	22,39	-33	0,050	2,239
-14	3,98	19,95	-34	0,040	1,995
-15	3,16	17,78	-35	0,031	1,778
-16	2,51	15,85	-36	0,025	1,585
-17	2,00	14,13	-37	0,020	1,413
-18	1,58	12,59	-38	0,016	1,259
-19	1,25	11,22	-39	0,013	1,122
-20	1,00	10,00	-40	0,010	1,000

III. Постоянные магниты

Появление специальных сплавов, обладающих высокими магнитными свойствами, позволило реализовать ряд преимуществ, возникающих при замене в громкоговорителях электрического возбуждения постоянными магнитами.

Основные из них: увеличение надежности всей конструкции; уменьшение веса магнитной цепи; улучшение теплового режима; облегчение и удешевление стоимости всего комплекта аппаратуры и монтажных работ.

Из различных сортов специальных магнитных сплавов вначале самое широкое применение для изготовления постоянных магнитов получил сплав ЮНД-4 (ранее он назывался АЛНИ или АНМ).

Сплав ЮНД-4 является сплавом железа, никеля, меди и алюминия с небольшим процентом других примесей. Свойства сплава зависят главным образом от процентного содержания никеля и алюминия. Однако примеси других элементов также влияют на свойства сплава. Например, медь улучшает качество сплава, а углерод — ухудшает. В сплаве ЮНД-4 содержится 25% никеля, 15,5% алюминия и 4% меди, остальной состав — железо.

Качество магнитного материала характеризуется величиной коэрцитивной силы H_c и остаточной индукции B_r , являющихся крайними точками кривой размагничивания, и магнитной энергией, то есть произведением $B \times H$ (рис. III—1).

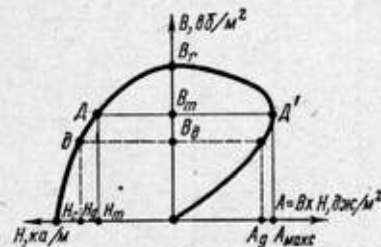


Рис. III—1. Кривая размагничивания и магнитной энергии:

B_r — остаточная индукция;
 H_c — коэрцитивная сила;
 A — рабочая точка; a — рабочая точка после разбора магнитной цепи

Кривая размагничивания является общей характеристикой магнитного материала. Она необходима также для расчета магнитной цепи. Чем лучше материал постоянного магнита, больше значение H_c и B_r , тем кривая более выпуклая. Важное значение имеет величина магнитной энергии ($B \times H$), показывающая эффективность магнитного материала.

Кривая размагничивания имеет точку максимума, соответствующую наилучшему использованию магнита. Значения H_m и B_m определяют рабочую точку на кривой размагничивания для правильно рассчитанной магнитной системы.

Кроме кривой размагничивания важное значение для характеристики магнитных материалов имеют следующие факторы: зависимость их свойств от изменений температуры окружающей среды; структурное старение — изменение структуры материала от времени, приводящее к изменениям его магнитных свойств; магнитное старение — изменение свойств под действием ударов, толчков, вибраций и т. п.

Сплав ЮНД-4 отвечает всем этим требованиям, оставаясь относительно дешевым. Однако его существенным недостатком является небольшая величина магнитной энергии, что приводит к необходимости для получения нужной величины магнитной индукции в воздушных зазорах головок кинотеатральных громкоговорителей использовать крупногабаритные магниты весом до 6 кг. При этом качество сплава таких магнитов ухудшается, вырастают габариты и вес головок. Освоение промышленностью кобальтового магнитного сплава ЮНДК-24 (ранее называвшегося АНКО-4), позволило решить задачу перевода высокочастотных головок на магнитные цепи с постоянными магнитами, а также оказалось технически целесообразным и экономически допустимым применить этот сплав и в целом ряде других типов кинотеатраль-

ных головок. В состав сплава ЮНДК-24 входят кроме железа 24% кобальта, 14% никеля, 9% алюминия, 4% меди и 0,3% титана.

Магнитная энергия этого сплава в сравнении с ЮНД-4 примерно в 3,5 раза больше. Из диаграммы рис. III—2 видно, что при равных магнитных энергиях объем магнита из сплава ЮНДК-24 в четыре раза меньше, чем для магнита из сплава ЮНД-4. В последнее время в производственном освоении находятся еще два вида сплавов — ЮНДК-25 и ЮНДК-25БА, магнитная энергия которых в 5,2 раза выше сплава ЮНД-4 и почти в два раза выше, чем у ЮНДК-24. Применение этих сплавов еще больше позволит сократить вес и габариты головок.

Рассмотренные краткие сведения относились к литым магнитам, то есть к отливаемым в заданную форму (кольцо, керн) из расплавленного в специальных электрических индукционных печах исходного материала и добавок к нему. Характерной особенностью кобальтовых сплавов является технологическая особенность их производства, при которой остывание сплава должно происходить в магнитном поле с целью получения так называемой анизотропной структуры, то есть максимума магнитных свойств только в одном определенном направлении.

Высокая стоимость кобальта и сложность технологии изготовления литых магнитов делают магниты дорогими.

Возникла задача получить магнитный материал с более высокой, чем у ЮНД-4, магнитной энергией, но более дешевый в сравнении с ЮНДК-24. Такое решение было найдено при разработке магнитов, прессованных из смеси порошка окислов железа с окислами бария ($BaO_8Fe_2O_3$). Прессованные феррито-бариевые магниты 2БА и 3БА по стоимости оказались близкими к сплаву ЮНД-4, а по величине магнитной энергии первый — несколько и второй — в два с лишним раза превосходящими этот сплав.

Технологически изготовление их оказалось также проще, так как сводилось к прессованию на мощном прессе смеси порошков в специальной пресс-форме, являющейся одновременно электромагнитом. При этом магниты получают в конце изготовления анизотропные свойства подобно кобальтовым сплавам.

В отличие от литых прессованные магниты имеют только кольцевого типа, причем характерным для них является малая высота при относительно большом диаметре. Это связано с характером их кривой размагничивания, имеющей относительно небольшую величину B_r и очень большую величину H_c .

К сожалению, практического применения магниты второго типа (3БА) не нашли, так как они очень критичны к минусовым температурам. Магниты 2БА широко применяются в радиовещательных головках и головках 4А-28 и 4ГД-28 для кинотеатральной аппаратуры.

Сравнительные данные перечисленных магнитов хорошо видны из кривых рис. III—2.

Для магнитных систем с постоянными магнитами существенно важным является неизменность формы магнитной цепи.

Если магнит и цепь рассчитаны правильно, то всякое изменение магнитной цепи ухудшает использование магнита, то есть приводит к падению индукции в зазоре магнитной системы громкоговорителя.

В частности, при снятии верхнего фланца (например, для чистки зазора) индукция в зазоре после последующей сборки упадет на 25—30%. Прежняя величина индукции может быть получена только после дополнительного намагничивания собранной магнитной системы. Причину уменьшения индукции нетрудно понять из рис. III—1.

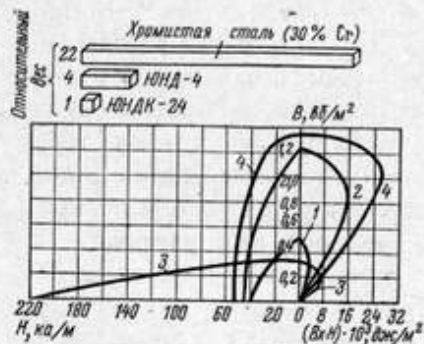


Рис. III—2. Характеристики современных отечественных материалов постоянных магнитов: 1 — сплав ЮНД-4 (Ав-3, АНМ, АЛНИ); 2 — сплав ЮНДК-24 (АНКО-4); 3 — оксидно-бариевый порошковый 2БА; 4 — сплав ЮНДК-25 (перспективный)

При удалении верхнего фланца происходит резкое изменение величины воздушного зазора, вызывающее увеличение размагничивающего поля полюсов H_d . Вследствие этого упадет величина индукции B_d , рабочая точка переместится в точку d на кривой, уменьшится энергия магнита.

Так как этот процесс необратим, то при вновь надетом верхнем фланце прежние условия могут быть получены только при восполнении утраченной магнитной энергии; это и происходит при повторном намагничивании системы.

Намагничивающее устройство представляет собой катушку с разомкнутым железом, между полюсами которой вставляется намагничиваемая система. Расчет такого устройства относительно прост. Основное затруднение при выполнении намагничивающей катушки — необходимость иметь мощный источник постоянного тока для ее питания.

Собранная магнитная система имеет воздушный зазор определенной величины, соответствующий наилучшему использованию магнита. При этом индукция в нейтральном сечении магнита будет соответствовать индукции точки максимума D и D' на соответствующих кривых.

Такая система по существу представляет собой постоянный магнит, полюсами которого являются керн и стенки отверстия в верхнем фланце системы. Находящийся между ними зазор определяет величину размагничивающего поля полюсов $H_d = H_m$.

IV. Шумовые измерительные сигналы

Длительное время в технике электроакустических измерений безраздельно господствовал один вид измерительного сигнала — синусоидальный, или, как его не совсем точно называют, тональный.

При испытаниях громкоговорителей в условиях неограниченной среды на открытом воздухе или в заглушенной камере широко и теперь применяется синусоидальный сигнал. Однако, если полученные данные хорошо характеризовали работу громкоговорителя на открытом пространстве, то для оценки его работы в закрытом помещении полученные данные оказывались недостаточными.

Целый ряд измерений, результатом которых явилось бы получение ценной информации о важнейших качественных показателях громкоговорителя или его головки (акустическая мощность), при использовании синусоидального сигнала вообще невозможны или же измерительная процедура с последующей обработкой результатов при этом столь громоздка, что практического применения найти не могли (например, определение к.п.д.).

Выход из положения был найден путем применения шумового сигнала, или, как его часто называют, сигнала сплошного спектра, в качестве измерительного сигнала и разработки соответствующих методик измерения излучаемой акустической мощности, к.п.д. и нелинейных искажений.

Основным типом сигнала сплошного спектра является так называемый белый шум. Вид сигнала представлен на рис. 6.

Белый шум представляет собой сложный звук, спектр которого оказывается непрерывной и однообразной функцией частоты в достаточно широком диапазоне. Более строгая формулировка гласит, что белый шум есть стационарный вероятностный процесс с равномерным энергетическим спектром.

Для понимания этого сложного понятия вспомним особенности природы света. Известно, что определенный цвет соответствует вполне определенной длине волны и поэтому все цвета располагаются в определенном порядке друг за другом. Известно также, что если смешать все цвета вместе, то мы получим белый цвет.

На уроках физики часто продлевается опыт расщепления белого света пропусканием его через призму, когда на ее выходе получается целая цветовая гамма. Подобное явление мы все часто наблюдаем в природе, любуясь радугой.

Поскольку со звуком аналогия полная, то и принято аналогичное название — белый шум.

Характерной особенностью белого шума является постоянство спектральной плотности мощности. Это означает, что в таком сигнале,

если мы из него с помощью фильтров постоянной ширины, например в $1/3$ октавы, будем вырезать полосы, то с ростом номера фильтра (повышения его средней частоты) уровень спектральной плотности мощности будет возрастать. Напомним, что под уровнем спектральной плотности мощности понимается величина мощности, определенная в пределах полосы шириной в 1 гц.

Типичным примером источника белого шума является тепловое движение свободных электронов в проводниках электрической цепи.

Тепловое движение свободных электронов в проводниках вызывают микротоки, которые создают на зажимах цепи флюктуационное напряжение. Это напряжение складывается из очень большого числа импульсов, обусловленное движением отдельных электронов. В теории цепей и сигналов шумовое напряжение теплового движения электронов определяют как стационарный случайный процесс с нормальным законом распределения вероятностей.

Для технического применения вполне достаточен более простой случай, когда спектр шума равномерен в заданной (ограниченной) полосе частот, а закон распределения вероятностей описывается определенной кривой, называемой гауссовой кривой. Белый шум такого вида в литературе называют гауссовым шумом.

Источником такого шума может быть обычное непроволочное сопротивление или диод, флюктуационные напряжения которого усиливаются специальной схемой (рис. IV—1). По аналогии с генератором звуковой частоты такое устройство называют генератором белого шума, или генератором сигнала сплошного спектра.

Для электроакустических измерений (акустическая мощность, к. п. д., нелинейные искажения) с целью избежать последующей корректировки необходимо иметь шумовой сигнал сплошного спектра, но с постоянством уровня спектральной плотности мощности. Опять же по аналогии с оптикой такой сигнал получил название **розовый шум**.

Розовый шум — стационарный стохастический сигнал с нормальным (гауссовым) законом распределения мгновенных значений, для которого уровень спектральной плотности мощности убывает с постоянной крутизной, равной 3 дб на октаву.

Шумовые сигналы являются стохастическими. Их отличие от простых сигналов, например синусоидального, заключается в том, что в простом сигнале выражение или формула, определяющая его поведение во времени, одновременно определяет и его основные параметры. Для стохастического сигнала с помощью соответствующих математических выражений можно определить его вероятность и временное распределение, однако из них нельзя получить достаточную информацию о его параметрах.

Сигнал типа розового шума получают, подключая к генератору белого шума специально рассчитанные RC-фильтры, характеристики которых обеспечивают указанную выше крутизну спада — 3 дб на октаву.

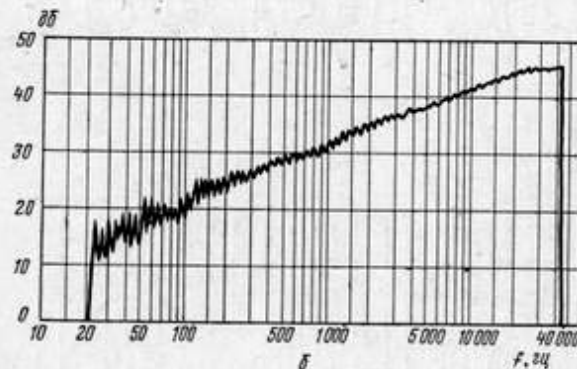
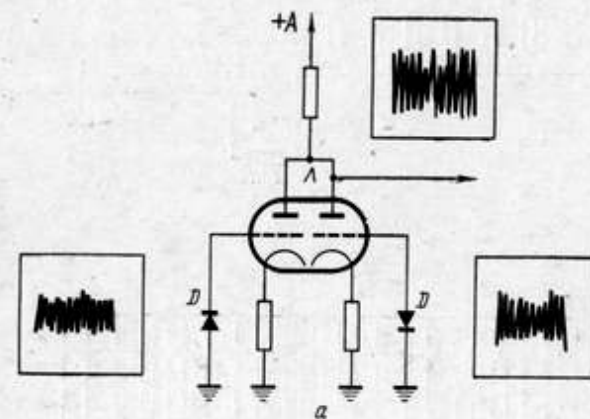


Рис. IV—1. Принцип схемы входного каскада (а) генератора белого шума и его характеристика (б) спектральной плотности:

Д — диоды — источники шума, Л — усилительная лампа

На рис. IV—2 показаны схема фильтра, его характеристика и характеристика спектральной плотности розового шума.

Как мы уже ранее говорили, измерения на полосах белого и розового шума завоевывают в электроакустике, да и не только в ней, все более широкое применение, существенно сократив монополию в этой области техники синусоидального сигнала.

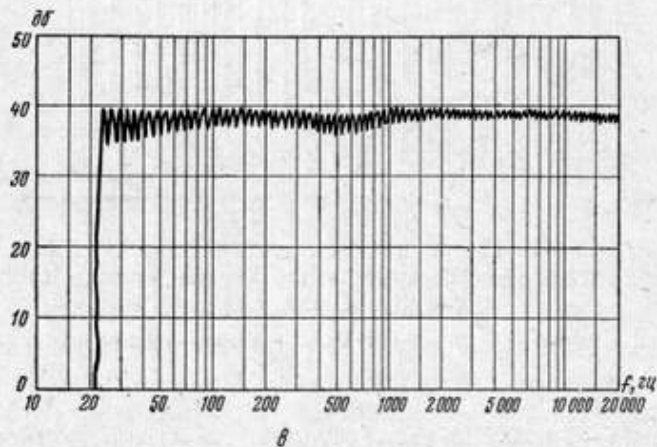
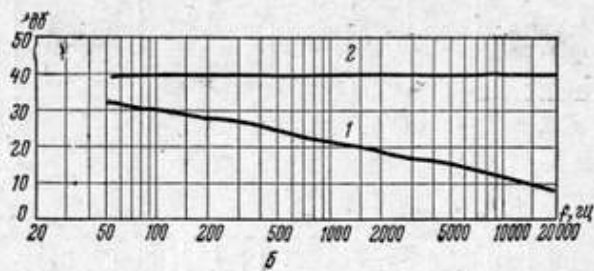
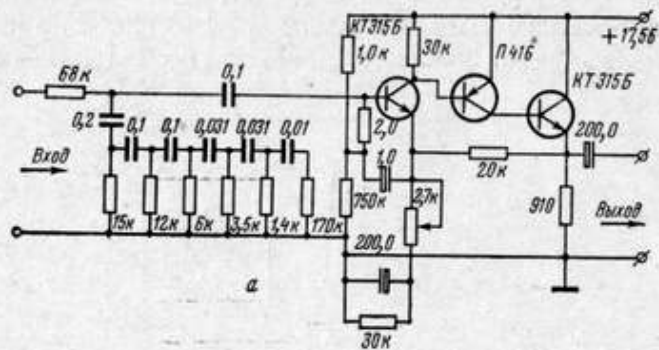


Рис. IV—2. Схема (а), характеристика (б) фильтра — 3 дБ на октаву и характеристика спектральной плотности (в) розового шума:

1 — характеристика фильтра; 2 — характеристика самошума

V. Новые разработки

Практика показала, что принятая в проектировании кинотеатральных громкоговорителей генеральная линия на использование минимального количества типов применяемых головок, безусловно, правильна, так как позволяет проводить систематическую работу над совершенствованием этого «сердца» электроакустической аппаратуры.

Техническую политику в совершенствовании головок громкоговорителей на ближайшие годы определяет норма Норм-кино 127—67 «Громкоговорители кинотеатральные. Головки». Срок введения в действие этого документа был установлен с 1969 г. Организации, проектирующие и изготавливающие громкоговорители, успешно начали работу по дальнейшей модернизации существующих головок.

Сумма качественных требований, которым должны удовлетворять головки кинотеатральных громкоговорителей, суммированы в табл. V—1. Из нее следует, что по-прежнему признано целесообразным сохранение трех типов головок: широкополосных, низкочастотных и высокочастотных. Одновременно сохраняются три класса головок каждого типа, но вместо ликвидированного третьего класса вводится высший класс. Подобное изменение свидетельствует, что, во-первых, возросли требования к качественным показателям кинотеатральных громкоговорителей, а во-вторых, возрос уровень знаний и опыта разработчиков.

При разработке новых головок и освоении их производством, естественно, получают принятый данным предприятием шифр модели. Однако в документации указывается, что головка такая-то соответствует по классификации нормали, например, головке ШП-1.

В нормали помимо качественных требований содержится целый ряд технических требований на головки, расширенные и уточненные в сравнении с существующими в настоящее время. Особое внимание уделено требованиям на механические (вибрации, удары, транспортировка) и климатические (температура, влажность) испытания.

Как мы уже упоминали, сейчас начата работа по модернизации существующих в производстве головок громкоговорителей.

Например, начата модернизация низкочастотной головки 2А-11 с задачей доведения ее качественных показателей до высшего класса. Одновременно начата разработка высокочастотной головки высшего класса. Заканчивается работа над головкой 1А-20, которая заменит существующие головки 1А-16 и 1А-17 и по своим показателям будет соответствовать в.ч. головке первого класса. Одновременно начинается серийное производство новой головки 2А-12, заменяющей ранее выпускавшуюся 2А-9 и являющуюся н.ч. головкой первого класса (н.ч.-1).

Кратким знакомством с этими двумя новыми головками мы закончим описание новостей в области проектирования громкоговорителей.

Качественные показатели головок кинотеатральных громкоговорителей

	Типы головок									
	ШП-В	ШП-1	ШП-11	НЧ-В	НЧ-1	НЧ-11	ВЧ-В	ВЧ-1	ВЧ-11	
Частота основного резонанса, <i>гц</i> (не более)	31	50	71	25	35	50	1250		630	
Номинальное сопротивление, <i>ом</i>	16									
Номинальный диапазон частот, <i>гц</i> (не хуже)	31—16 000	50—12 500	71—10 000*	25—4500	35—2240	50—2240	1250—18 000	630—16 000	630—14 000	
Среднее стандартное звуковое давление, <i>н/м²</i> (не менее)	0,4									
Средний номинальный к. п. д., <i>дб</i> (не менее)	—24									
Общий уровень нелинейных искажений при номинальной мощности в полосе частот, <i>дб</i> (не хуже)	—34	—28	—25	—34	—31	—28	—	—	—	—
Номинальная мощность, <i>вт</i>	12 и 6	6 и 3	12 и 6	25 и 12	25 и 12	50 и 25	12 и 6	6 и 3	12 и 6	12 и 6
Максимальная мощность, <i>вт</i> (не менее)	25 и 12	12 и 6	12 и 6	25 и 12	50 и 25	50 и 25	12 и 6	12 и 6	12 и 25	12 и 25

* Для узкополосных киностановок допускается выпуск специализированных головок типа ШП-11 с сушеным номинальным диапазоном частот и специальной формой частотной характеристики.

Высокочастотная головка 1А-20 по данным подвижной системы похожа на головку 1А-17, за исключением материала диафрагмы. Выпускающиеся диафрагмы высокочастотных головок изготавливаются из тонкой дюралюминиевой фольги методом штамповки. Однако фольга не очень стабильна по своим механическим и физическим свойствам. Кроме того, сама штамповка диафрагм требует строгого соблюдения всех технологических режимов и является процессом сложным, многооперационным.

Поэтому в производстве подвижных систем с такой диафрагмой неизбежен брак, выявляемый лишь при испытании готовой головки.

Использование одного из новых полимерных материалов (лавсана) в данной области техники принесло большой положительный эффект. Лавсановая не ориентированная пленка по прочности и прочим данным нисколько не уступает дюралюминиевой фольге. Но она выгодно отличается от фольги сохранением неизменными физико-механических свойств вплоть до готового изделия из нее. К тому же процесс штамповки сильно упрощается и не требует большого числа специального инструмента и мощных прессов, что резко сокращает брак.

Лавсановая диафрагма головки 1А-20 изготавливается из пленки толщиной 200 *мк* (вместо 60 *мк* для фольги), соответствуя по размерам, конструкции и конфигурации тангенциального гофра на воротнике дюралюминиевой диафрагме головки 1А-17.

Конструкция подвижной системы и данные звуковой катушки также практически остаются без изменения, за исключением замены сплава ЮНД-4 на сплав ЮНДК-24.

Низкочастотная головка 2А-12, общий вид которой приведен на рис. V—1, по конструкции будет существенно отличаться от конструкции ранее выпускавшихся низкочастотных головок.

Подвижная система головки 2А-12 использует диффузор от головки 2А-9, однако технология его отлива заметно улучшена с целью получения тонкого гофрированного воротника — гофра, несущего на себе несохнущую акустическую промазку.

Заново переработана звуковая катушка и центрирующая шайба. Применена двухслойная звуковая катушка с 164 витками медного провода ПЭЛ диаметром 0,21 *мм* (вместо четырехслойной в 2А-9) и коробчатая гофрированная центрирующая шайба (см. рис. V—1) с диаметром рабочей поверхности 126,3 *мм*. Шайба такой конструкции прекрасно себя зарекомендовала в головке 4А-32.

Благодаря улучшенному гофру диффузора и новой центрирующей шайбы достигнута хорошая податливость подвижной системы и низкая частота основного резонанса (не более 40 *гц*).

Магнитная цепь выполнена на кольцевом магните из сплава ЮНДК-24, на kern ее напрессован медный колпачок — короткозамк-

нутый виток. Благодаря этому индукция поднята до $1,1 \text{ веб/м}^2$ (11 000 *гс* по старой системе единиц), а номинальный диапазон воспроизводимых частот расширен до 2500 *гц*.

Максимальная электрическая мощность головки 2А-12 составляет 25 *вт*, среднее стандартное звуковое давление, ею развиваемое, равно $0,35 \text{ н/м}^2$.

Очень оригинально решен метод соединения двух основных узлов: диффузородержателя с закрепленной на нем подвижной системой и магнитной системы. Конструкторы развили далее первоначальную идею, осуществленную в головке 4А-32.

Возвращаясь к рис. V—1, можно понять сущность осуществленной идеи. Диффузородержатель в вершине конуса заканчивается полым цилиндрическим стаканом. Стакан обрабатывается с достаточной точностью по торцу, обращенному внутрь диффузородержателя, и внутри цилиндрической части, также в него входящей. В процессе сборки отдельно на специальных приспособлениях собираются оба узла. При этом на обод диффузородержателя наклеивается плоская часть гофра диффузора, а плоское кольцо центрирующей шайбы (как бы ее ободок) приклеивается к торцу цилиндрического стакана.

Собранная магнитная цепь вставляется внутрь стакана диффузородержателя, причем точная расточка его верхней части центрирует магнитную цепь по отношению

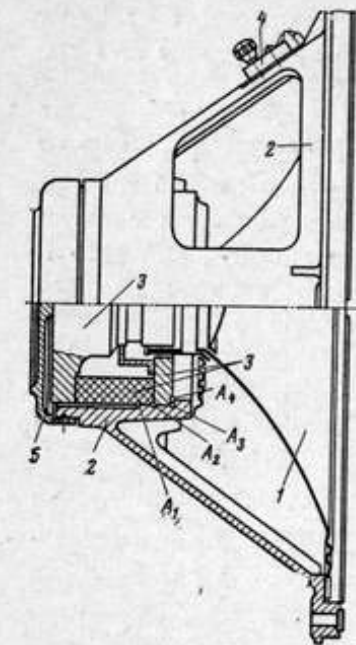


Рис. V—1. Общий вид низкочастотной головки 2А-12:

1 — подвижная система; 2 — диффузородержатель (с центрирующим стаканом); 3 — магнитная цепь; 4 — клеммная плата; 5 — крышка; A_1, A_2, A_3, A_4 — точная обработка поверхностей, центрирующая магнитную цепь относительно диффузородержателя с подвижной системой

к звуковой катушке. После этого торец стакана закрывается навинчивающейся крышкой, которая стопорится винтами.

Точность изготовления собранных узлов такова, что любая магнитная цепь подойдет к любому диффузородержателю, и наоборот.

VI. Некоторые вопросы звукоусиления в закрытых помещениях

Звуковоспроизведение кинофильмов является на современном уровне развития акустики и электроакустики относительно простой задачей. Для ее решения необходимо обеспечить в зале нормальные акустические условия, то есть он должен быть не слишком разглушенным (гулким) или заглушенным, правильно выбрать мощность комплекта звуковой аппаратуры и хорошо отрегулировать расположение громкоговорителей, стремясь обеспечить все зрительские места прямой звуковой энергией.

Задача усложняется, если в зале необходимо еще проводить мероприятия, связанные с усилением речи. Наконец, та же задача становится очень сложной, если звукоусиление должно обеспечивать разные по характеру программы, начиная от собрания и кончая, например, концертом. С такого рода задач встречаются при проектировании киноконцертных залов — нового вида массового сооружения, все шире входящего в современную систему культурного обслуживания трудящихся.

Вся сумма вопросов, связанных с проблемой звукоусиления, весьма обширна и должна составить содержание отдельной книги. Поэтому ниже мы кратко остановимся на некоторых из них: на времени реверберации, акустической обратной связи*, предельном выигрыше, амбиофонии.

В отличие от открытого пространства или заглушенной измерительной камеры закрытое помещение отличается тем, что на слушательское место приходят, во-первых, прямая звуковая энергия от источника звука, во-вторых, отраженная от стен и потолка, или, как принято ее называть в акустике, диффузная энергия.

Если стены и потолок акустически обработаны, то отражений меньше и, наоборот, количество диффузной энергии увеличится, если на них нет звукопоглощающего материала. На рис. VI—1 условно даны схемы отражений для указанных случаев.

Акустические свойства помещения принято характеризовать оптимальным временем реверберации T_0 , то есть временем, в течение которого интенсивность излученного источником звука уменьшается на 60 *дб*. Совершенно очевидно, чем меньше поглощают звуковой энергии

* На практике бытует термин «завязка», образно выражающий явление возникновения генерации звуковых колебаний в системе микрофон—громкоговоритель из-за акустической обратной связи между ними.

поверхности помещения, тем больше будет в нем время реверберации (рис. VI—1).

При малом времени реверберации помещение называют заглушенным, при большом — разглушенным, или гулким. В кинотеатрах время реверберации в среднем бывает от 0,8 сек (в малых залах) до 1,4 сек (в больших залах). При этом весьма важно обеспечить такие условия, при которых время реверберации мало бы менялось в зависимости от частоты звука

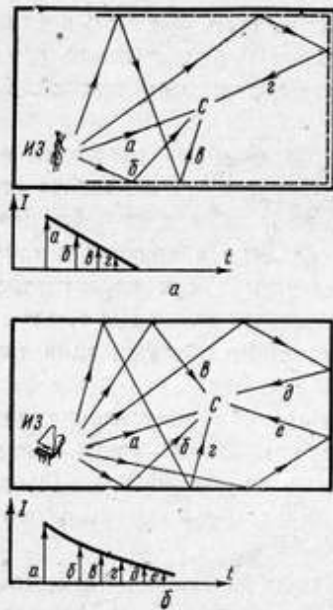


Рис. VI—1. Схема отражений в нормальном (а) и гулком (б) помещениях:

---- акустическая обработка

Время реверберации прямо пропорционально объему помещения и обратно пропорционально коэффициенту поглощения того материала, которым обработаны его стены и потолок. На рис. VI—2 приведена схема отражений в двух разных по объему помещениях и время реверберации для каждого из них.

Рассмотрим теперь простейший пример звукоусиления: один микрофон и один громкоговоритель расположим на открытом воздухе (рис. VI—3). В этом случае на микрофон действуют два сигнала: один из них — звуковое давление p_0 , создаваемое первичным источником —

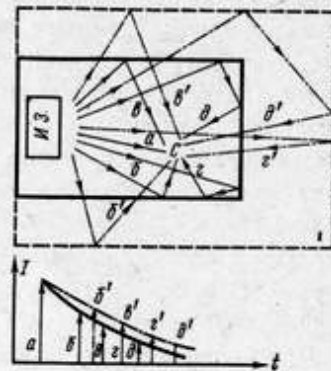


Рис. VI—2. Влияние размеров помещения (его объема) на отражения и время реверберации

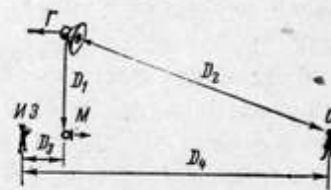


Рис. VI—3. Простейший пример схемы звукоусиления:

ИЗ — источник звука; С — слушатель; М — микрофон системы звукоусиления; Г — громкоговоритель этой системы; D_1, D_2, D_3, D_4 — расстояния между ними

оратором, музыкантом и т. п., второй — давление p , создаваемое вторичным источником, то есть громкоговорителем системы звукоусиления.

В системе звукоусиления микрофон является входной частью, громкоговоритель — выходной. Следовательно, по аналогии с усилительной схемой второй сигнал есть сигнал обратной связи с выхода системы на ее вход. Отношение $\frac{p}{p_0 + p}$ называется коэффициентом обратной связи β .

Как и в усилителях, если фаза коэффициента обратной связи положительна, то в системе возникает генерация. При этом для акустической системы к фазовому сдвигу, обусловленному аппаратурой звукоусиления, добавляется изменение фазы за счет пробега звуковой волной расстояния от громкоговорителя до микрофона. Следовательно, фаза обратной связи в диапазоне звуковых частот принимает всевозможные значения, то есть обратная связь на одних частотах оказывается положительной, на других — отрицательной. Поэтому коэффициент обратной связи всегда должен быть меньше единицы, иначе генерация неизбежна.

Чем ближе первичный источник к микрофону, чем больше расстояние микрофона от громкоговорителя, и чем уже их характеристики направленности, тем меньше звуковое давление от сигнала, пришедшего от громкоговорителя к микрофону, и, следовательно, система работает устойчиво. При этом следует заметить, что микрофон и громкоговоритель должны быть так направлены, чтобы минимальные зоны их характеристик направленностей были обращены друг к другу.

В закрытом помещении положение осложняется тем, что к микрофону приходит сигнал не только прямо от громкоговорителя, но и отраженный от стен и потолка. Возрастает число частот, на которых обратная связь положительна, и суммарное давление на микрофон со стороны громкоговорителя возрастает. По этой причине в помещении нельзя обеспечить тот же коэффициент усиления системы, что и на открытом воздухе.

Из опыта эксплуатации систем звукоусиления известно, что усиление на уровне -6 дБ ниже критического (при котором начинается генерация) обеспечивает стабильность работы. Поэтому этот уровень принято называть предельным усилением системы.

Прирост уровня в точке наблюдения при работе системы звукоусиления по сравнению с уровнем от естественного источника называется предельным выигрышем, если усиление системы ограничено предельным значением. Очевидно, что предельный выигрыш тем больше, чем полнее удовлетворяются перечисленные выше условия стабильности работы системы. Обычно предельный выигрыш составляет величину $10-15$ дБ и резко падает при акустически плохо спроектированном зале или неудачной системе звукоусиления.

Строго говоря, вышеприведенные определения упрощены, и сама картина происходящих сложных процессов в сложной системе идеализирована в дозволённых пределах, а именно: первичный источник — микрофон — система звукоусиления, вторичный источник (громкоговоритель) — зал.

В частности, оптимальное время реверберации является необходимым критерием качества зала, но далеко не единственным. В свое время из-за преувеличения веса и значения этого критерия весьма часто возникали печальные обстоятельства, когда вновь построенный зал на практике оказывался акустически неудовлетворительным.

В процессе проектирования зала акустический расчет требует четкого определения его будущих функций. В практических условиях далеко не безразлично, что в данном зале будет: только собрания, митинги и другие подобные мероприятия или в нем будет вестись только концертная деятельность и т. д.

Заинтересованность инженера-акустика в четком ответе на эти вопросы оказывается не случайной. Дело в том, что акустические условия, благоприятные для зала с одними функциями, оказываются неблагоприятными для его других функций.

Для пояснения сказанного вернемся к нашей упрощенной модели. В этих условиях для речевого помещения требуется малое время оптимальной реверберации, и тогда речь сохраняет четкость и разборчивость. Музыка в таком зале будет звучать неестественно, образно говоря, «без воздуха», то есть звучание отдельных инструментов теряет характерную для них тембральную окраску.

Следовательно, для хорошего звучания музыки помещение должно быть разглушено, а время оптимальной реверберации в нем существенно выше речевого. Зато речь оратора в нем звучит не очень разборчиво и теряет четкость.

В подобных случаях зал рассчитывают либо по оптимальному варианту для случая преобладающего вида его использования, либо находят такое компромиссное решение, при котором все проводимые в нем мероприятия шли бы на удовлетворительном уровне качества звучания.

С появлением и распространением многоцелевых и киноконцертных залов возникла проблема, как обеспечить оптимальные акустические условия в нем для любого из мероприятий разного характера, следующего порой почти друг за другом.

Архитектурная акустика делала попытки строительного решения данной задачи (например, в студиях радиовещания) путем создания поворотных конструкций элементов акустического оформления зала. Однако из-за сложности, дороговизны и малоэффективности этот путь практического применения не нашёл.

Выход из создавшегося тупика был найден путем создания систем амбиофонии, которые средствами электроакустики позволяют в широких пределах изменять акустические условия в зале от некоторых заданных средствами архитектурной акустики начальных условий. В частности, если для большого зала средствами архитектурно-строительной акустики оптимальное время реверберации получено 1,2—1,4 сек (речевой режим), то системой амбиофонии оно может быть увеличено до 3—5 сек, вплоть до ясно различимого эха. При этом переход может совершаться практически мгновенно, то есть амбиофония может служить средством создания и звуковых эффектов.

Амбиофония является сложной системой, использующей многократное повторение довольно простого явления — эффекта Гааза. Сущность его заключается в следующем (рис. VI—4): слушатель, находящийся в некоторой точке помещения, не способен различить, пришел ли к нему звук, отраженный от стены b или от громкоговорителя d (рис. VI—4), если последний имеет такое же время запаздывания в сравнении с прямым звуком a , какое имел звук b . Из рис. VI—4 следует, что для этого надо у источника звука поставить микрофон, а в линию от него к усилителю включить специальное устройство, задерживающее сигнал на время, равное времени пробега звука b от источника до стены и от стены в точку наблюдения.

Если в точку наблюдения приходит звук после двукратного отражения от стен e , то имитирующий его громкоговоритель надо удалить от точки наблюдения настолько, чтобы время задержки в электрическом канале плюс время пробега от громкоговорителя d к точке наблюдения было равно времени запаздывания звука e .

Следует только упомянуть, что обязательным условием в этом опыте является равенство уровней звука, отраженного от стен и прошедшего от имитирующего его громкоговорителя.

В реальном зале существует множество отражений, совокупность которых создает диффузное поле, дополняющее поле прямого звука и сообщающее залу ту дополнительную окраску звучания в нем, которое называют акустическими условиями.

Однако каждое отражение звука связано с частичным поглощением энергии, и интенсивность отраженного звука сильно уменьшается с ростом числа отражений.

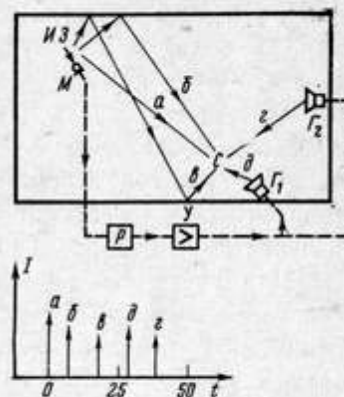


Рис. VI—4. Схема создания отражений искусственным путем:

ИЗ — источник звука; С — слушатель; М — микрофон системы задержки сигналов; Р — ревербератор; У — усилитель; Г₁, Г₂ — громкоговорители системы задержки

Поэтому в практических условиях оказалось достаточно для создания полного эффекта увеличения реверберации зала (его разглушения) иметь четыре электрических канала с разным временем задержки в каждом и достаточно большое количество громкоговорителей, равномерно распределенных по залу, подключенных в определенном порядке к этим каналам.

В киноконцертных залах нашли применение специальные многоканальные магнитные ревербераторы, представляющие собой магнитофон с головкой записи, стирания и многими головками воспроизведения. На магнитную ленту в виде кольца записывается поступающий сигнал, а удаление каждой последующей головки воспроизведения от головки записи обуславливает разное время задержки сигнала на выходе головок. Амбиофон имеет сложную электронную схему, в которой находятся все необходимые регулировки и, в частности, возможность дополнительного увеличения времени задержки сигнала в выходных каналах по отношению к входному.

Для улучшения работы системы амбиофонии, в особенности на большом времени реверберации (свыше 3 сек), часто применяют еще один способ задержки во времени звуковых сигналов — эхо-камеру. Последняя представляет собой сильно разглушенное помещение типа реверберационной измерительной камеры, но имеющее форму вытянутого параллелепипеда (прямоугольного бруса).

В эхо-камере устанавливаются громкоговоритель и микрофон, расстояние между ними определяет время задержки, а большое время реверберации необходимо для создания хорошо перемешанного (диффузного) звукового поля в точке приема — у микрофона. Сигнал с выхода схемы эхо-камеры затем подмешивается в электрические каналы системы амбиофонии.

В заключение заметим, что система амбиофонии вполне удовлетворительно работает, если на амбиофон подавать сигнал не со специальных дополнительных микрофонов, а с каналов звукоусиления сцены, то есть с основных микрофонов.

VII. Схемы кинотеатральных громкоговорителей. Данные комплектов КЗТУ и КЗТ

Ниже для справок приведены схемы электрических соединений кинотеатральных громкоговорителей, таблицы основных данных громкоговорителей комплектов звукоусиления и звуковоспроизведения для киноконцертных залов КЗТУ-1 и КЗТУ-3, а также громкоговорителей, входящих в комплекты звукоусиления спектаклей в театрах 35КЗТ-1 и 37КЗТП-1 (рис. VII-1—VII-7).

Рис. VII—1. Схема соединений громкоговорителя 30А-62:

Тр — трансформатор; Ф — разделительный фильтр; К — входные клеммы (клеммы) громкоговорителя; — — — перепайка провода с 4 на 5 контакт платы трансформатора уменьшает уровень сигнала на 3 дБ

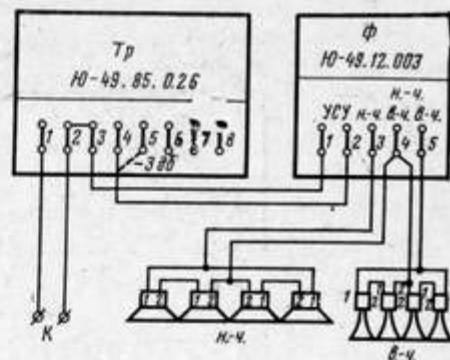


Рис. VII—2. Схема соединений громкоговорителей 30А-64 и 30А-66 (условные обозначения — см. рис. VII—1)

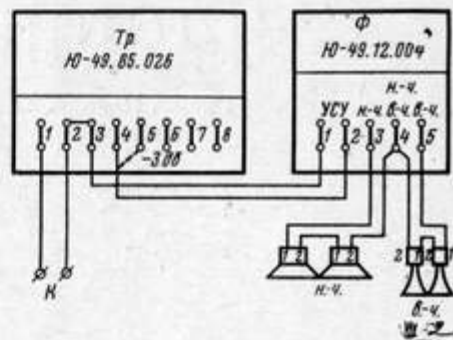


Рис. VII—3. Схема соединений громкоговорителя 30А-68 (обозначения те же, что на рис. VII—1)

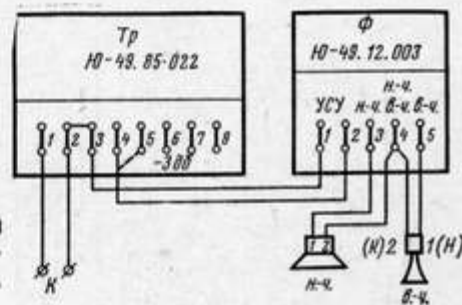
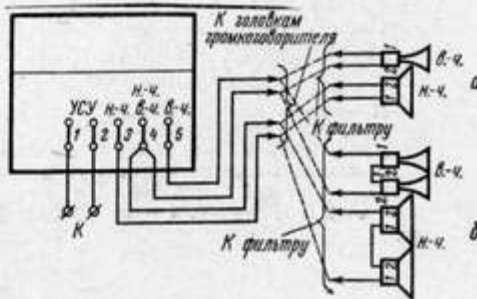


Рис. VII—4. Схема соединений громкоговорителей:

а — 30А-15 с фильтром 30А-15/01—00—01; 25Г ДД-1 с фильтром 25Г ДД-1/00.000; 30А-32 с фильтром Ю-48.87.801; б — 30А-30 с фильтром 30А-30/25-00



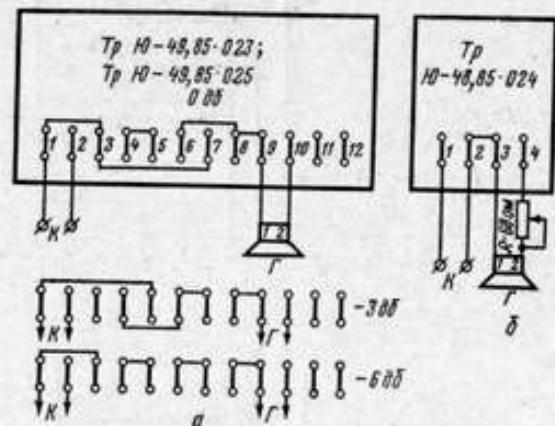


Рис. VII—5. Схема соединений громкоговорителей 30А-46, 25А-44(а), 25А-46 (б):

К — входные зажимы громкоговорителя; Г — широкополосная головка; —3 дБ и —6 дБ — перепадки на переходной плате, соответствующие снижению уровня на выходе трансформатора

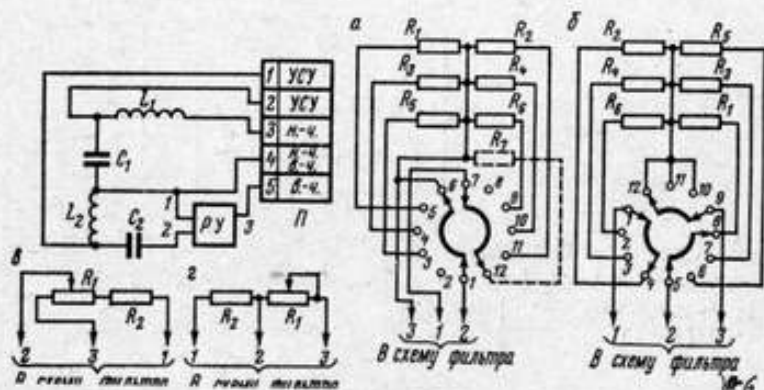


Рис. VII—6. Типовая схема разделительного фильтра двухполосных кинотеатральных громкоговорителей (данные см. в табл. VII—3):

П — переходная плата; РУ — регулировка уровня на выходе в.-ч. звена фильтра; а — схема РУ — для фильтров Ю-49.12.003, Ю-49.12.004 и Ю-48.87.801 (с добавлением цепи R_1 — от общей точки на контакт 12 переключателя); б — схема РУ для фильтра 30А-30/25-00; в — то же для фильтра 25ГДД-1/00-000; г — то же для фильтра 30А-15/01-00-01

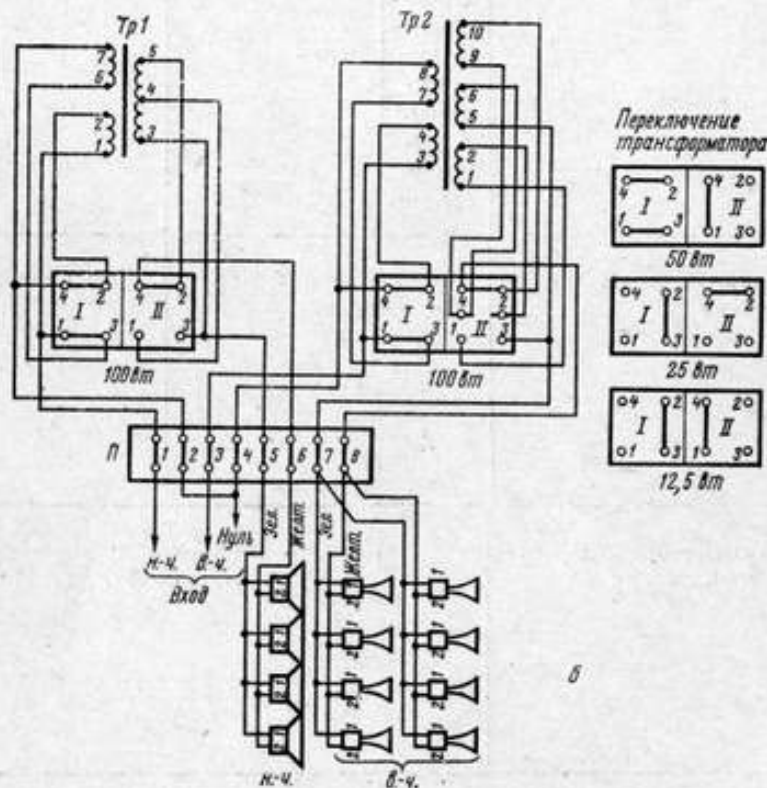
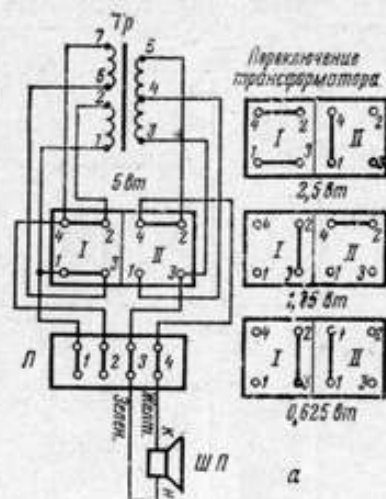


Рис. VII—7. Схема соединений громкоговорителей 30А-70(а) и 25А-24 (б)

Основные конструктивные данные стационарных громкоговорителей

Основные данные	Тип громко				
	30А-17	30А-18	30А-19	30А-20	30А-21
Общие габариты громкоговорителя, см	627× ×259× ×158*	393× ×345× ×128,5	532,5× ×110× ×80	110×80× ×49	138× ×104× ×70
Вес громкоговорителя, кг	1200	900	70	120	
Тип акустического оформления н.-ч. звена	Прямой экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинвертор		Звуковая колонка	Ящик-фазоинвертор	
Конструкция и материал н.-ч. звена	Металлический каркас, обшивка — фанера 30 мм		Деревянный каркас, обшивка — фанера 20 мм		
Тип акустического оформления в.-ч. звена	Прямой экспоненциальный рупор с акустической линзой**				
Способ размещения в.-ч. звена	С боков н.-ч. звена***	Снизу н.-ч. звена***	Встроено в н.-ч. звено		

аппаратуры КЗТУ, 35КЗТ, 37КЗТП и другого применения

громкоговорителя							
30А-34	30А-36	30А-38	30А-40	30А-44	30А-60	30А-70	35ГД-3: 37ГД-1
270× ×110× ×80	260× ×127× ×120	180× ×142× ×110	116× ×73× ×46	95×60× ×44,5	324× ×138× ×102	260× ×100× ×120	58,5× ×43× ×20
450	800	300	65	40	600	750	17
Звуковая колонка	Прямой экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинвертор	Ящик-фазоинвертор	Прямой экспоненциальный рупор, встроенный в фазоинвертор	Звуковая колонка	Закрытый ящик, заполнителем		
Металлический каркас, обшивка — фанера 30 мм	Деревянный каркас, обшивка — фанера 20 мм		Металлический каркас, обшивка — фанера 30 мм	Деревянный каркас, обшивка — фанера 10 мм			
Рупор цилиндрического фронта волны	Рупор с линзой**	Рупор цилиндрический	Не имеет	Рупор цилиндрического фронта волны	Головка прямого излучения		
С боков н.-ч. звена***	На н.-ч. звене	Врезано в верхнюю стенку ящика	—	На н.-ч. звене	С боков н.-ч. звена***	На передней стенке ящика	

Основные данные	Тип громко				
	30А-17	30А-18	30А-19	30А-20	30А-21
Метод крепления н.-ч. головки	Накладными скобами за обод диффузоро- фиксируется угловыми планками (2А-9 —				
Диаметр отверстия в щите для н.-ч. головки, см	41,0				
Диаметр центров крепежных отверстий (см); количество	54,1; 0,65;				
Метод крепления в.-ч. головки к рупору	Болтами к офланцованной				
Диаметр выходного отверстия в.-ч. головки, см	2,73				
Диаметр крепежных отверстий; их количество, диаметр центров, см	М5 × 4; 8,4				

* Ширина н.-ч. звена 143 см.

** В настоящее время заменяются на рупоры цилиндрического

*** При необходимости в.-ч. звенья могут быть размещены иным

говорителя							
30А-34	30А-36	30А-38	30А-40	30А-44	30А-60	30А-70	35ГД-3; 37ГД-1
держателя; положение головки 2 шт.; 2А-11 — 4 шт.)			Винтами к передней стенке за приливы на диффузородержателе		Накладными скобами за обод диффузородержателя; положение головки фиксируется угловыми планками		Винтами к передней стенке ящика
			32,0	30	41,0		28,0
2			42,4; 0,7; 2	32,6; 0,6; 4	54,1; 0,65; 2		30,7; 0,43; 8
горловине рупора				—	Болтами к офланцованной горловине рупора		Винтами к стенке ящика
			2,7	—	2,73		13,0
				М5×3; 6,0	—	М5 × 4; 8,4	М3 × 3; 14,3

фронта волны.
образом.

Таблица VII—2
 Данные головок радиопромышленности, используемых в кинотеатральных громкоговорителях

№ п/п	Основные данные			
	2ГД-7	4ГД-7к	4ГД-28к	2ГД-19
1	2	4		2
2	80 ÷ 10 000	60 ÷ 12 000		80 ÷ 10 000
3	15			
4	80 ÷ 100	60 ÷ 80		80 ÷ 100
5	4,5	15		4,5
6	7500	7000		7500
7	152 × 61	202 × 80	202 × 71,2	152 × 50
8	185	355	520	350
9	Бумажный, литой с криволинейной образующей			
10	110	154		110
11	Трехзвенный гофр			
12	Матерчатая, гофрированная, бакелизированная; 64			

№	Диффузодержатель	Штампованный из стали 10 КП-П			
		148	192	148	148
13					
14	<i>D</i> расположения крепежных отверстий, мм	4,8 × 3	6,0 × 4	4,8 × 3	4,8 × 3
15	<i>d</i> крепежных отверстий (мм) × количество	130	170	130	130
16	<i>D</i> отверстия в передней стенке ящика, мм	15	17	15	15
17	<i>d_к</i> керна магнитной цепи, мм	16,6	18,8	18,6	16,6
18	<i>D</i> отверстия в верхнем фланце цепи, мм	0,8 × 3,0	0,8 × 3,0	0,8 × 3,0	0,8 × 3,0
19	Размер воздушного зазора (ширина × высота), мм	Кольцевой, прессованный 2БА			
20	Тип магнита; материал	35	60	110	75
21	Вес магнита, г	20—14 × 19	27—16 × 22	60 × 8	52 × 8
22	Размеры магнита (<i>d</i> × <i>h</i>), мм	ПЭЛ; 0,11	ПЭЛ; 0		ПЭЛ; 0,11
23	Марка, диаметр провода звуковой катушки, мм	47 × 2	59 × 2		47 × 2
24	Число витков × число слоев				

¹ Головки 2ГД-7 и 4ГД-7 отличаются от головок 2ГД-19 и 4ГД-28 только типом магнита.

* Индекс «к» означает, что вместо 4,5 мм головка имеет 15 мм.

Данные разделительных фильтров и согласующих трансформаторов

1	Тип громкоговорителя	30А-15	30А-30	30А-32	30А-62
2	Тип фильтра	$\frac{30А-15}{01-00-01}$	$\frac{30А-30}{25-00}$	Ю-48.87.801	Ю-49.12.003
3	Сопротивление нагрузки, ом	15	30	15	
4	Регулировка уровня в в.-ч. звене фильтра, дБ	Плавная от 0	Ступенями —3; —6; —9	Ступенями 0;	
5	L_1 , мГн	1,1	5,5	3,0	4
6	L_2 , мГн	2,7	4,6	3,6	3
7	C_1 , мкФ	15	6	12	6
8	C_2 , мкФ	10	6	6	4
9	R_1 , ом	51	12	4,3	12
10	R_2 , ом	25	91	18	91
11	R_3 , ом	—	20	7,5	20
12	R_4 , ом	—	39	10	39
13	R_5 , ом	—	27	10	27
14	R_6 , ом	—	22	6,8	22
15	R_7 , ом	—	—	30	

Таблица VII—3

маторов, применяемых в кинотеатральных громкоговорителях

30А-64	30А-66	30А-68	25ГДД-1	30А-46	25А-44	25А-46
Ю-49.12.004		Ю-49.12.003	$\frac{25ГДД-1}{00-000}$	—	—	—
30		15		—	—	—
—3; —6; —9			Плавная от 0	—	—	—
4	4	4	1,0	—	—	—
4	3	3	2,7	—	—	—
4	6	6	16	—	—	—
4	4	4	10	—	—	—
12	12	12	20	—	—	—
91	91	91	24	—	—	—
20	20	20	—	—	—	—
39	39	39	—	—	—	—
27	27	27	—	—	—	—
22	22	22	—	—	—	—
—	—	—	—	×	—	—

16	Тип трансформатора	—	—	—	Ю-
17	Мощность, <i>вт</i>	—	—	—	
18	Номинальное $u_{\text{вых}}(\theta)$ при $u_{\text{вх}} = 60 \text{ в}$	—	—	—	
19	Магнитопровод	—	—	—	
20	D провода (по меди)*, <i>мм</i> ²	—	—	—	
21	Номера** обмотки и количество витков I	—	—	—	
	II				
	III				
	IV				
	V				
	VI				
	VII				

* Марка провода мотка — ПЭВ-1.

** Номера выводов следуют за номерами обмоток (I — 1 и 2; II — 3 и 4; III — 5 и 6 и т. д.). При наличии секций номера выводов сдвигаются (I — 1 и 2; IIa — 3 и 4; IIb — 4 и 5; III — 6 и 7

Продолжение табл. VII—3

49.85.026	Ю-49.85.022	—	Ю-49.85.025	Ю-49.85.023	Ю-49.85.024	
100	25	—	12	6	1,5	
40; 28	20; 13,5	—	14; 7,8; 4	10; 6; 3,2	4,9	
Ш30×45	Ш30×30	—	Ш30×30	Ш24×24	Ш18×18	
0,8	0,59	—	0,38	0,27	0,29	0,2
168	270	—	213	192	134	—
IIa — 96; IIb — 72	IIa — 90; IIb — 180		352	180	—	760
168	I—270		213	192	134	—
168	IVa — 90; IVb — 180		704	960	—	760
—	—		213	192	134	—
—	—		352	480	—	—
—	—		213	192	—	—

II — 3 и 4; III — 5 и 6 и т. д.). При наличии секций номера выводов и т. д.).

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие сведения о громкоговорителях

§ 1. Типы громкоговорителей	6
§ 2. Принцип действия головки громкоговорителя электродинамического типа	10
§ 3. Основные показатели качества громкоговорителя	12
§ 4. Измерение громкоговорителей	26

2. Электродинамические громкоговорители прямого излучения

§ 1. Устройство головки прямого излучения и назначение ее основных деталей	34
§ 2. Акустическое оформление громкоговорителей прямого излучения	44
§ 3. Методы расширения номинального диапазона частот	57
§ 4. Основные электроакустические показатели	63
§ 5. Промышленная аппаратура	81

3. Рупорные электродинамические громкоговорители

§ 1. Назначение рупора	87
§ 2. Экспоненциальный рупор	90
§ 3. Критическая частота	91
§ 4. Акустическая трансформация	94
§ 5. Направленность излучения	97
§ 6. Конструкция рупорного громкоговорителя нормального типа	98
§ 7. Качественные показатели рупорного громкоговорителя нормального типа	101
§ 8. Громкоговорители с направляющим рупором	107

4. Двухполосные громкоговорители

§ 1. Требования к качеству звуковоспроизведения	110
§ 2. Условия воспроизведения громкоговорителем низких и высоких частот	113
§ 3. Принцип построения двухполосных громкоговорителей	117
§ 4. Разделительные фильтры	118
§ 5. Акустическое оформление двухполосных громкоговорителей	125
§ 6. Устройство двухполосных громкоговорителей	136
§ 7. Основные данные промышленной аппаратуры	154

5. Эксплуатация громкоговорителей

§ 1. Стационарные громкоговорители	166
§ 2. Передвижные громкоговорители	177
§ 3. Особенности эксплуатации многоканальных систем	182
§ 4. Фазирование громкоговорителей	191
§ 5. Согласование громкоговорителя с усилителем	197

6. Ремонт громкоговорителей

§ 1. Конструктивные и электроакустические данные кинотеатральных громкоговорителей	202
§ 2. Материалы для ремонтных работ	203
§ 3. Особенности ремонта громкоговорителей	219
§ 4. Контроль качества ремонтных работ	229

Приложения

I. Термины, определения, понятия	233
II. Переводы в проценты значений к.п.д. и уровня нелинейных искажений, выраженных в децибелах	239
III. Постоянные магниты	239
IV. Шумовые измерительные сигналы	243
V. Новые разработки	247
VI. Некоторые вопросы звукоусиления в закрытых помещениях	251
VII. Схемы кинотеатральных громкоговорителей. Данные комплектов КЗТУ и КЗТ	256

**Болотников
Игорь Михайлович**

●

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

●

Редактор А. А. Фомин. Оформление художника
Г. Я. Нагорянского. Художественный редактор
Э. Э. Ринчино. Технический редактор
В. Ф. Богданова. Корректоры Г. И. Сопова
и С. Н. Юрвец

●

Сдано в набор 10/II 1970 г. Подписано к печати
4/III 1971 г. А05120. Формат издания 84×108^{1/16}.
Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 14,28. Уч.-изд. л.
15. Тираж 25 000 экз. Изд. № 16535. Издательство
«Искусство», Москва, К-51, Цветной бульвар, 25.
Заказ № 75. Цена 53 коп.

Книжная ф-ка им. М. В. Фрунзе Комитета по печати
при Совете Министров УССР, Харьков, Донец-
Захаржевская, 6/8.