

Микрофоны. Исторические заметки.

Сергей Агеев

Микрофон, как техническое устройство, имеет давнюю историю. Первоначально главной целью изобретателей было создание телефона - того самого, без которого немыслима нынешняя жизнь. Для решения этой задачи необходимы были три составляющие: преобразователь звуковых колебаний в другой вид энергии, поддающийся передаче на расстояние, переносчик этой преобразованной энергии (как мы теперь бы сказали, канал связи), и обратный преобразователь, воссоздающий звуковой сигнал. Что касается канала связи, то уже в начале XIX века стало ясно, что он должен быть электрическим. Оставалось "всего лишь" изобрести преобразователи звукового сигнала в электрический и электрического в звуковой. Это и была главная задача изобретателей телефона.

Насколько известно, первая электрическая система телефонирования была предложена в середине прошлого века вице-инспектором парижского телеграфа инженером-механиком Шарлем Бурселем. Идеи Бурселя так и остались на бумаге, а первое устройство реально изготовил Филипп Рейсс (1834-1874), немецкий учитель физики из Франкфурта-на-Майне. Рейсс продемонстрировал своё изобретение на съезде Франкфуртского физического общества 26 октября 1861 года. В его устройстве приёмник звуковых колебаний представлял собой ящик с большим круглым отверстием в верхней крышке. В отверстии была натянута перепонка, к которой прикреплен платиновый контакт. Напротив него закреплён другой контакт, и оба контакта были включены в разрыв цепи, идущей к источнику тока и излучателю. Когда под действием звуковых волн перепонка колебалась, контакты то замыкали, то размыкали электрическую цепь. Таким образом, аппарат Рейсса мог реагировать только на моменты замыкания контакта (т. е. на высоту тона), но не сохранял форму звуковой волны. Иначе говоря, он вёл себя подобно плохой distortion - приставке, включенной в современный микрофонный тракт. Понятно, что "микрофон" Рейсса так и остался техническим курьёзом.

Первое устройство, которое имело право называться микрофоном в нынешнем понимании этого слова, было сконструировано спустя пятнадцать лет (в 1876 году) создателем телефона - Александром Грехемом Беллом (рис. 1).

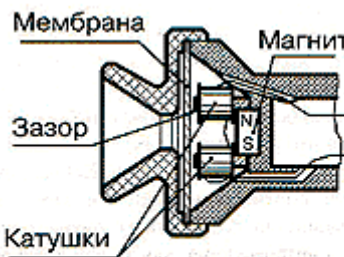


Рис. 1. Конструкция электромагнитного микрофона.

Принцип его действия следующий: при колебаниях мембраны изменяется воздушный зазор в магнитной цепи, а, следовательно, и магнитный поток в ней. Изменение же магнитного потока, проходящего через катушки, намотанные на полюса магнитной цепи, приводит к появлению электрического сигнала на концах катушек. Качество такого микрофона было невысоким, особенно вначале, но речь понять было можно. Сейчас подобный электромагнитный принцип используется преимущественно в головках звукоснимателей для виниловых пластинок.

Важным шагом вперёд в изобретении Белла было то, что его микрофон в отличие от своих предшественников позволял получить электрический сигнал, форма волны которого более или менее соответствовала форме волны звуковых колебаний.

После создания телефона началась лавина усовершенствований и патентных войн за право использования столь прибыльного изобретения. Крупная телеграфная фирма Western Union наняла известного изобретателя тех времён Томаса Эдисона с тем, чтобы он изобрёл аналогичную по

своим (но отличающуюся по устройству, то есть патентно-чистой) систему телефонии. В результате Эдисон среди прочего изобрёл сразу два новых микрофона.

В обоих использовался тот факт, что сопротивление угольного контакта электрическому току зависит от силы давления.

В первом микрофоне использовался шарик из угля, к которому прилегал графитовая или жестяная мембрана - совсем как у Рейсса. Когда мембрана колебалась, контакт становился то лучше, то хуже, тем самым менялось сопротивление контакта, и, соответственно, величина тока через микрофон (угольный микрофон требует источника питания (батареи)). Отголосок этой конструкции сохранился в обозначении микрофона на электрических схемах (рис. 2).

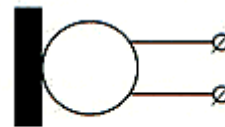


Рис. 2. А вот так микрофон обозначается на схемах.

Работал такой "шариковый" микрофон отвратительно: слышимость - как с того света. Поэтому Эдисоном (и независимо от него Дэвидом Юзом в Англии в 1878 г.) почти сразу же был предложен другой микрофон (рис. 3), получивший название капсюльного. В нем колебания мембраны изменяли давление на столбик угольного порошка, отчего изменялось его сопротивление. Этот угольный микрофон был намного "громче" электромагнитного, а потому получил повсеместное применение в телефонии. Поскольку число контактов между зёрнами порошка было намного больше, чем между угольным шариком и мембраной, такая конструкция оказалась гораздо надёжнее и дожила в телефонии до наших дней.

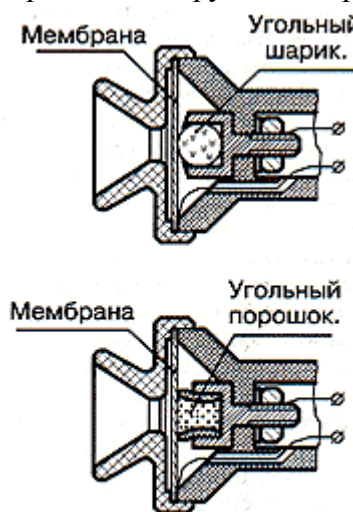


Рис. 3. Устройство угольных микрофонов "шарикового" и капсюльного.

До начала тридцатых годов других микрофонов, кроме электромагнитных и угольных, в продаже практически не было, несмотря на то, что громкоговорители приличного качества стали появляться с середины двадцатых годов. Так, Райс и Келлог (Rice&Kellog) выпустили в 1925/26 годах в Англии свой Radiola Loudspeaker, конструкция которого лежит в основе всех современных диффузорных громкоговорителей, в 1926 году на Берлинской выставке был продемонстрирован электростатический громкоговоритель, воспроизводивший полосу частот от 60 Гц до 15 кГц, и в том же году Ридгер в Германии создал свой Blatgaller, прототип изодинамического (или ортодинамического) громкоговорителя.

Главное отличие изодинамического громкоговорителя от традиционного (диффузорного) состоит в том, что в нем совмещены источник механической силы и поверхность, создающая звуковые волны. Если в диффузорном громкоговорителе звуковая катушка раскачивает диффузор, а он - частицы воздуха, то в изодинамическом громкоговорителе витки звуковой катушки распределены по всей площади мембраны. Благодаря этому жесткости от мембраны не требуется, и она может быть очень тонкой и легкой, точно передающей звук. При этом, в отличие от электростатических, изодинамические громкоговорители не боятся пыли и влаги, могут развивать большое звуковое давление. Прямые потомки ридгеровского детища сейчас известны под названием магнепланаров (Magnepan, громкоговоритель Касаткина-Фельдмана).

В результате создалась парадоксальная ситуация: качество звукоусилительной техники (которая к тому времени получила применение в театрах и звуковом кино) ограничивалось качеством первого звена - микрофонов. Качество звукозаписи, которая с середины 20-ых годов тоже стала электроакустической, при электроакустическом воспроизведении также в значительной степени стало определяться качеством микрофона, использованном при записи. Несколько утрируя, можно сказать: чем воспроизвести - уже было, чем записать - ещё нет.

Предпринималось несколько попыток усовершенствования угольных (мраморных) и электромагнитных микрофонов, но все они оказались не слишком удачными. Угольные микрофоны (представлявшие собой, по существу, множество плохих контактов) шипели, хрипели и хрустели, как и свойственно плохому контакту. Электромагнитные же микрофоны имели чрезвычайно "жестяной" звук, обусловленный резонансами относительно толстой мембраны.

Уменьшить её толщину не позволял принцип действия электромагнитного микрофона - магнитный поток насыщает тонкую мембрану, а магнитное насыщение приводит к резкому падению магнитной проводимости материала и сильному снижению чувствительности. Динамические микрофоны, представляющие собой, по сути дела, "динамик наоборот", тоже были в младенческом возрасте.

Поэтому предпосылки для высококачественной звукозаписи появились только в начале тридцатых годов после изобретения в 1931 году Гарри Олсоном (США) ленточного микрофона и доводки конструкций конденсаторных микрофонов до практического использования.

Справедливости ради стоит упомянуть, что работоспособный конденсаторный микрофон впервые был описан в 1917 году Вентом в Англии, а идея его устройства высказывалась еще раньше.

Однако у американцев подобные изобретения (например, искусственная голова - "ушастик" Флетчера) были скорее "научной игрушкой", промышленного интереса у тогдашних дельцов от радиовещания и звукозаписи (кроме RCA) они не вызывали. В Германии же рассудили иначе. С одной стороны, чувствительные микрофоны интересовали военных (то есть шпионское ведомство), с другой стороны - набирал силу лозунг "Немецкое - лучшее в мире". Немаловажно и то, что с конца двадцатых годов экспорт грампластинок стал одной из важных статей дохода германского бюджета. Поэтому серийные высококачественные микрофоны первыми начали производить именно немцы и австрийцы, а не американцы.

В начале тридцатых годов два друга, инженеры-механики Байер (Beyer) и Георг Нойман (Georg Neumann), (после того, как Байер "выбил" казённую субсидию на разработки), занялись производством микрофонов. Байер разрабатывал более понятные ему динамические микрофоны, а Нойман для разработки конденсаторных микрофонов привлёк д-ра Шепса (Shoeps), который долго был "мозговым трестом" на фирме, где Нойман служил администратором. Не дремали и в Австрии: Вайнгартнер из AKG заложил основы теории и инженерного расчёта микрофонов, а во второй половине тридцатых годов на фирме Зеннхайзера (Sennheizer) изобрели схему высокочастотного (радиочастотного) питания капсулей конденсаторных микрофонов, что позволило резко уменьшить влияние сеточного тока ламп, вызывающего характерный низкочастотный шум обычного конденсаторного микрофона ("шум моря"). Благодаря этому удалось без роста шума уменьшить диаметр микрофонных капсулей с 35...50 мм до 20...25 мм, улучшив их характеристики и звучание на высших частотах.

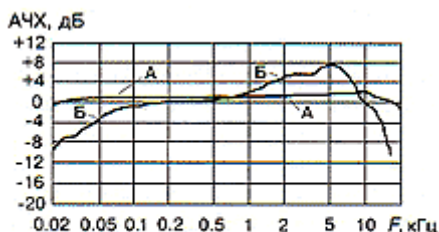
С тех пор эти фирмы (AKG, Beyerdynamic, Sennheiser Electronic, Neumann и Shoeps) держат большую часть рынка высококачественных студийных и сценических микрофонов.

Главным отличием микрофонов, предназначенных для высококачественной передачи звука, от остальных (измерительных, дикторских, связных и т. п.), является то, что их свойства должны быть согласованы со свойствами человеческого слуха. Иначе говоря, неидеальность характеристик таких микрофонов (а ничего идеального в мире нет) по возможности не должна быть заметна на слух или по меньшей мере не ухудшать общего впечатления.

Очевидно, что в разных условиях применения степень заметности различных недостатков и достоинств в звучании микрофона будет разной. Именно поэтому часто задаваемый сакраментальный вопрос "какой микрофон самый лучший?" бессмысленен, если не оговорены цель его применения и критерии оценки результата. Стоит также помнить, что правило "чем дороже, тем лучше" здесь работает далеко не всегда.

Сложность оценки характеристик микрофонов (и их конструирования), как и любого

звукотехнического прибора, заключается в том, что, с одной стороны, микрофон - такое же техническое приспособление, как часы или пишущая машинка, а с другой стороны - микрофон должен звучать, и звучать хорошо.



Понятие же "хорошего" звука отнюдь не однозначно и не

сводится к какой-то одной характеристике. Рассмотрим следующий пример: микрофон А имеет почти идеальную частотную характеристику, микрофон Б - более узкий частотный диапазон, большую неравномерность частотной характеристики (рис. 4).

Казалось бы, микрофон А должен при прочих равных условиях звучать лучше, чем микрофон Б. Однако при прослушивании вполне может получиться обратная картина: большинство экспертов предпочтёт запись, сделанную с микрофона Б. Дело в том, что микрофон "слушает" совсем не так, как человек: если человек в состоянии сосредоточиться на определённом источнике звука (например, солисте, первой скрипке или фортепиано), то микрофон этой способности лишён, и "сосредоточиться" за него должен звукорежиссёр. Так, если микрофон установить в концертном зале там же где сидит слушатель, запись получится совсем непохожей на "живой" концерт. Во-первых, реверберационные отзвуки зала в записи будут слышны намного сильнее, чем при непосредственном прослушивании. Во-вторых, исчезнет или резко исказится ощущение расстояния до источников звука, исчезнет ясность их восприятия (по выражению Стравинского, появится "рояль в горле у певца"). В-третьих.... Стоит ли продолжать?

Чтобы понять причину подобных недоразумений (и уметь их избегать), нелишне вспомнить некоторые сведения из акустики и свойств человеческого слуха.

Давно известно, что звук распространяется в воздухе посредством образования волн - участков повышенного и пониженного давления воздуха. Механизм их образования в своей основе весьма прост. Известно, что воздух, с одной стороны, упруг (что используется для амортизации колёс автомобилей, велосипедов и т. д.), а с другой стороны - имеет определённую (хотя и небольшую) плотность, или удельный вес. Удельный вес воздуха зависит от температуры и давления, причём с ростом температуры он уменьшается (т. е. на морозе воздух плотнее).

Если мы посмотрим, что происходит при колебании поверхности какого-либо тела в воздухе, то обнаружим следующую картину. При начале движения поверхности вправо те частицы воздуха, которые находятся справа от колеблющейся поверхности, в силу своей инерционности (воздух отнюдь не невесом!) оказываются уплотнены. Иными словами, образуется слой повышенного давления. Благодаря упругости воздуха усилие от сжатого слоя передается следующему слою, но из-за инерционности двигаться он начинает не сразу. При движении поверхности в другую сторону, влево, образуется слой пониженного давления, т.е. разрежение, которое будет вызывать совершенно аналогичное движение частиц воздуха, только в обратную сторону (влево). Скорость распространения колебаний воздуха и составляет скорость звуковых волн. Она пропорциональна квадратному корню из частного от деления упругости воздуха на его удельный вес. В комнатных условиях звук распространяется со скоростью около 330 м/сек, то есть, чтобы пройти один метр, звуку нужно 0,003 сек., а чтобы пройти 30 м - около 0,1 сек.

Если колебания излучающей поверхности повторяются с определённой частотой, например, 440 Гц (т. е. 440 раз в секунду - такова частота камертона для настройки инструментов), колебания воздуха начинают повторяться в пространстве, в нашем случае - примерно через 0,8 м (330 м/сек разделить на 440 Гц). То есть, в случае периодических колебаний можно говорить о длине звуковой волны. Стоит отметить, что размеры резонаторов музыкальных инструментов прямо связаны с длиной волны - чем длиннее волна (и ниже её частота), тем, в частности, длиннее и соответствующая ей труба органа. Длины звуковых волн лежат в диапазоне от 20 м (15 Гц) до 1,5 см (22 кГц).

Очевидно, что любые звуковые волны имеют некоторую мощность (переносят определённую энергию). Вопреки распространённому заблуждению, энергия эта весьма невелика: так, если бы можно было сконцентрировать энергию рева стотысячной толпы за десять минут, этой энергии едва хватило бы для нагрева воды в стакане всего на несколько градусов. Большие мощности звуковоспроизводящих систем (десятки киловатт) обусловлены крайне малой степенью полезного действия громкоговорителей: обычно она не превышает одного процента, а у домашних колонок может составлять сотые доли процента. Для сравнения: большой оркестр при forte fortissimo создаёт акустическую мощность всего 50...100 Вт, но звук при этом очень громкий. Таким образом, благодаря очень высокой чувствительности человеческого слуха относительно малая мощность собственно звуковых колебаний не создает никаких проблем. Обычно интенсивности

звуковых волн составляют всего от 10-12 (одной тысячемиллиардной) до 10-2 (одной сотой) (!) ватта на квадратный метр площадки, перпендикулярной к направлению их распространения.

Хорошо известно, что чувствительность слуха зависит от частоты (высоты тона) звука. Поэтому следует различать интенсивность звука (Sound Intensity), величину звукового давления (Sound Pressure), уровень звукового давления (Sound Pressure Level или SPL) и уровень громкости звука (Loudness Level).

Интенсивность звука - это величина, характеризующая энергию, переносимую звуковыми волнами. Измеряется в ваттах на квадратный метр, используется редко.

Величина звукового давления (или просто звуковое давление) характеризует величину изменения давления при прохождении звуковых волн. Измеряется обычно в паскалях (Па) или, что то же самое, в ньютонах на квадратный метр.

Здесь необходимо остановиться на одном широко распространенном недоразумении, связанном с термином "звуковое давление". Дело в том, что ему соответствуют два разных понятия: собственно величина звукового давления (т. е. SP) и неприятное ощущение давления в ушах при громком звуке. Строго говоря, правильным является только первое толкование, но на практике их часто смешивают.

Уровень звукового давления отличается тем, что он определяется в относительных единицах - децибелах относительно некоторой опорной величины звукового давления. Опорная величина звукового давления обычно принимается равной 0,00002 Па, что приблизительно равно порогу слышимости чистого тона с частотой 1 кГц. Соответственно, уровню звукового давления в 0 дБ соответствуют колебания давления с эффективным значением 0,00002 Па, уровню в 20 дБ - соответственно 0,0002 Па, уровню в 94 дБ - 1 Па и так далее. Однако в ряде случаев опорная величина звукового давления может отличаться от 0,00002 Па, что требует соответствующего пересчета. Так, вместо 0,00002 Па используют величину 1 микробар, которая соответствует одной десятиллионной паскаля (0,0000001 Па), и разница в уровнях при этом составляет целых 46 дБ.

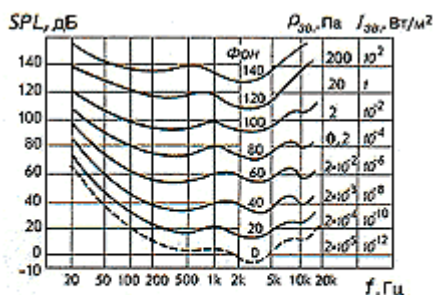


Рис. 5. Кривые равной громкости и связь между уровнями громкости, уровнем звукового давления, звуковым давлением и интенсивностью звука.

Уровень громкости - более сложное понятие, чем уровень звукового давления. Давно известно, что чувствительность слуха к звукам разных частот неодинакова. Следовательно, громкость звуков с одинаковым уровнем звукового давления, но разными частотами может быть неодинакова. Поэтому кроме понятия уровня звукового давления, и было введено понятие уровня громкости. Уровень громкости измеряется в фонах, и при одинаковой громкости в фонах звуки чистых тонов разных частот в среднем на слух имеют равную громкость. На частоте 1 кГц уровень громкости в фонах равен уровню звукового давления (относительно 0,00002 Па, или порога слышимости). На других частотах соответствие между уровнем громкости и уровнем звукового давления чистого тона дается кривыми Флетчера-Мэнсона-Робинсона-Дадсона, или кривыми равной громкости (рис. 5). По ним видно, что чувствительность уха к звукам самых низких и самых высоких частот сильно ослаблена.

Это обстоятельство послужило причиной введения так называемого частотного взвешивания при измерении звуковых давлений и напряжений звуковых сигналов. Применяемые для этой цели взвешивающие фильтры имитируют частотные характеристики уха. Наиболее распространенными являются характеристики, утвержденные Международной электротехнической комиссией (МЭК, англ. IEC), - такие, как МЭК-А ("IEC-A"), и характеристика, данная в немецких промышленных нормах (Deutsche Industrienormen), DIN 45405 (она же CCIR 468). Обе эти характеристики широко используются для измерения шумовых напряжений и звуковых давлений, хотя существенно отличаются друг от друга, поскольку при их построении исходили из различных соображений. Характеристика МЭК-А просто имитирует кривую равной громкости для чистых тонов с громкостью около 20 фон. А характеристика DIN 45405 построена на основании

исследований по степени неприятности шумов на различных частотах. Поэтому при измерении шумов более объективные результаты получаются при использовании методики DIN 45405 (и аналогичной ей CCIR 468). На практике, однако, чаще используется методика МЭК-А, поскольку она дает "лучшие" цифры (в среднем на 10...14 дБ).

Стоит отметить ещё две существенные особенности распространения звуковых волн. Первая из них состоит в том, что звуковая волна создаётся не при движении колеблющейся поверхности с постоянной скоростью, а в момент изменения её скорости (как сказали бы математики, звуковое давление пропорционально не скорости или величине смещения, а ускорению излучающей поверхности). Именно поэтому диффузоры динамиков, струны и деки струнных инструментов, колебания которых обычно еле видны, но происходят с большими ускорениями, способны создавать весьма громкие звуки, тогда как быстро летящий в воздухе планер почти бесшумен.

Вторая особенность состоит в том, что теоретически существует три типа звуковых волн: плоская, цилиндрическая и сферическая. Практически же все эти три типа волн существуют одновременно, но рассматривать их удобнее по отдельности.

Плоская волна напоминает одновременный удар по всем частицам вблизи колеблющейся поверхности, когда все частицы начинают двигаться практически в одном направлении. Звук в виде плоской волны мало ослабевает с расстоянием (как в длинном коридоре, в котором отсутствует звукопоглощение).

Поведение цилиндрических волн подобно кругам на воде: они слабеют при удалении от источника звука обратно пропорционально расстоянию (т. е. каждое удвоение расстояния ослабляет звук на 6 дБ).

Сферические волны ослабевают ещё быстрее - обратно пропорционально квадрату расстояния, то есть при удвоении расстояния сферическая волна ослабевает на 12 дБ.

Все три типа волн могут превращаться друг в друга. Кроме того, на большом (по сравнению с длиной волны) расстоянии от источника звука маленькие участки сферической или цилиндрической волны неотличимы от плоской, тогда как вблизи от источника звука могут сосуществовать все три типа волн. Так, если размеры излучателя (колеблющегося тела) много больше длины волны и вся поверхность излучателя колеблется одновременно (синфазно), то вблизи от нее мы будем иметь почти плоскую волну. Затем, на расстоянии, примерно равном

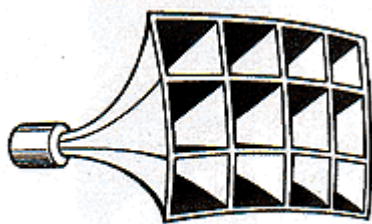


Рис. 6. Ячеистый рупор.

поперечному (по отношению к направлению колебаний) размеру излучателя, плоская волна плавно переходит в сферическую. Если же окажется, что излучающая поверхность больше похожа на струну, нежели на поршень, то есть её размер в одном направлении, например, по горизонтали, окажется много меньше длины волны, а в другом направлении - больше, то вблизи от такого излучателя волна будет цилиндрической. Цилиндрическая волна, как и плоская, с увеличением расстояния переходит в сферическую. Поэтому волны от оркестра при прослушивании на обычном расстоянии (7...15 метров) можно считать сферическими. А вблизи от каждого инструмента это далеко не так, поскольку разные части инструментов излучают волны разных типов: деки излучают преимущественно плоские волны, струны - цилиндрические (или им подобные), раструбы духовых - преимущественно сферические. Но поскольку для волн разного типа степени убывания с расстоянием различаются, то и тембр, и характер звучания устанавливаются только на определенном расстоянии от инструмента.

Вблизи же из-за сосуществования разных типов волн характер звучания во многом зависит от расстояния и места прослушивания. Область сосуществования различных типов волн называют ближней зоной. Наиболее заметной особенностью звучания в ближней зоне является подчеркивание низких частот при использовании любых микрофонов, кроме ненаправленных (приемников звукового давления, omni). Это явление получило название эффекта приближения (proximity effect), или эффекта ближней зоны. Другие особенности процесса распространения звука в ближней зоне очень сложны, поэтому здесь мы их рассматривать не будем.

На практике важно следующее. Звук, распространяющийся в виде плоской волны, имеет острую направленность как по вертикали, так и по горизонтали, а распространяющийся в виде цилиндрической волны имеет острую направленность в той плоскости, в которой лежит "ось" излучающего тела. Так, если "ось" цилиндрической волны вертикальна, направленность будет острой по вертикали, а если горизонтальна - соответственно, по горизонтали.

Поэтому, когда необходимо повысить направленность излучения звука, стараются сформировать плоскую или цилиндрическую волну например с помощью рупоров или акустических линз (рис. 6), или же составляя общую излучающую поверхность из многих акустических систем (рис. 7).

С другой стороны, если размеры излучателя много меньше длины излучаемой волны, она с самого начала окажется сферической. Такая ситуация, в частности, типична для работы басовых и суббасовых колонок (сабвуферов): длина волны с частотой в 30 Гц равна примерно 10 м, тогда как вся колонка редко бывает больше, чем 1г1г2 м. Поэтому сколько-нибудь заметная направленность излучения на низших частотах у отдельной колонки отсутствует. Чтобы получить направленность излучения низких частот, приходится создавать громоздкие конструкции (см. рис. 7).

Всё вышеописанное справедливо для того случая, когда на пути распространения звуковых волн нет никаких преград и, соответственно, нет отражений от них.

В реальности же мы, как правило, находимся в помещении, стены которого частично поглощают, а частично отражают звуковые волны. Волна, отражённая один раз, отражается от другой стены во второй, третий раз и так далее. Звуковые волны в помещении заперты, как в клетке, и создают реверберацию. Чем меньше поглощение энергии звука при отражениях (и соответственно выше интенсивность отражения), тем дольше звук блуждает между стен, прежде чем окончательно затихнуть.

Поэтому в помещении, если только оно не полностью заглушено (безэховая камера), наибольший вклад в интенсивность звука обычно вносит не прямой звук непосредственно от источника, а реверберационный отзвук помещения. Благодаря тому, что реверберирующее помещение представляет собой как бы аккумулятор звуковой энергии (на время, примерно равное времени слышимой реверберации), то не только спад, но и нарастание уровня звука происходит плавно. На слух это заметно не всегда, но при прослушивании записи очевидно.

В качестве стандартного критерия времени реверберации используют две величины: полное время реверберации (Stopped reverberation), равное времени, в течение которого уровень звукового давления после выключения источника звука убывает в тысячу раз (на 60 дБ), и время слышимой реверберации (Running reverberation), определяемое как время убывания звукового давления на 20 (иногда 30) дБ. Первая величина характеризует время, в течение которого слышен отзвук помещения при мгновенном выключении источника звука (например, в паузе музыкального произведения). Вторая - время, в течение которого (в среднем) слышен реверберационный отзвук при продолжающемся звучании источника звука.

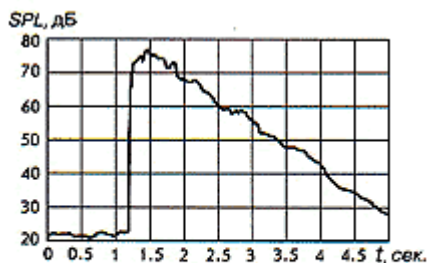


Рис. 8. Спад звукового давления после выстрела из стартового пистолета.

Время реверберации на практике оценивают путём анализа записи процесса спада звукового давления после какого-либо сильного звука (например, выстрела из стартового пистолета), сделанной в разных точках помещения. Примерный вид кривой спада звукового давления приведен на рис. 8. Как видно из кривой, полное время реверберации составляет около 4 сек., а извилистость хода указывает на вероятность наличия весьма неприятного дефекта помещения - порхающего эха.

Поскольку степень отражения (и поглощения) звуковых волн зависит от частоты, то и время реверберации оказывается зависящим от частоты. Так, в обычной жилой комнате обычно отражается 85...95% энергии звука на низких частотах (до 150 Гц), 65...90% на средних частотах (200...1500 Гц) и 40...70% на высших (до 15 кГц). Соответственно полное время реверберации оказывается равным 0,5...2 сек. на низких, 0,3...1 сек. на средних и менее 0,5 сек. на высших частотах. Поэтому на слух реверберация в обычной жилой комнате ощущается слабо (но при

записи с ненаправленного микрофона она хорошо слышна). Характерное время реверберации для концертных залов составляет 1,5...2 сек. на средних частотах, доходя до 5...10 сек. на самых низких частотах. При проектировании концертных залов обычно стремятся выровнять частотную зависимость времени реверберации, принимая меры по уменьшению поглощения звука на высоких частотах и увеличению поглощения низких частот. В больших залах существует проблема, связанная с тем, что волны высоких частот ослабляются не только при отражениях, но и просто при распространении в воздухе: в зависимости от температуры и влажности, поглощение звука частотой 8 кГц в воздухе может составлять до 0,4 дБ на метр пути, на 15 кГц - до 0,7 дБ. Поэтому, чтобы частично компенсировать потерю высоких частот, принимают меры по фокусировке их на слушателях (так, куполообразный потолок или раковина за сценой играют роль звукового зеркала, направляющего звуки высших частот преимущественно на слушателей). Однако при этом время реверберации на высших частотах уменьшается еще сильнее, что нарушает соответствие между тембрами коротких и протяжных высокочастотных звуков (теряется "воздушность" послезвучания тарелок, колокольчиков и т. п.).

Наличие в помещении реверберационных отражений приводит к тому, что при удалении от источника звука его громкость сначала уменьшается, а затем практически перестает изменяться - уменьшение доли прямого звука компенсируется отражениями. Конечно, характер звучания продолжает изменяться и при дальнейшем удалении микрофона.

Расстояние от источника звука в помещении, на котором прекращается уменьшение громкости, называется радиусом гулкости. На расстоянии, меньшем радиуса гулкости, доминирует прямой звук от источника, на большем расстоянии - отраженный. При выходе за радиус гулкости изменяется не столько общий уровень звукового давления (т. е. громкость), сколько соотношение между прямым и отраженным звуком (степень реверберации). Радиус гулкости зависит в основном от свойств помещения и степени направленности излучателя звука, составляя обычно от одного до трёх метров. Понятно, что в направлении максимума излучения радиус гулкости будет больше, а минимума - намного меньше.

Следует отметить, что на практике величина радиуса гулкости зависит от степени направленности не только источника, но и приемника звука: радиус гулкости при ориентации направленного микрофона на источник звука будет больше. Кстати, это главная причина того, что реверберация гораздо меньше мешает человеку, нежели большинству микрофонов.

Соотношение между интенсивностью отраженного и прямого звука называется акустическим отношением и играет большую роль в обеспечении естественности звучания. Акустическое отношение при звукозаписи зависит от места расположения микрофона, а также от степени его направленности. Понятно, что чем ближе расположен микрофон и чем острее его направленность, тем ниже акустическое отношение.

Реверберация в помещении проявляется в полном объеме не сразу: сначала приходят первые отражения, затем вторые, третьи, а затем "отражения отражений" начинают сливаться в общий гул - идет лавина переотражений. Существенно, что наиболее важную роль в создании впечатления объемности звучания играют направления и время прихода первых отражений: по ним мы оцениваем размеры помещения, характер его архитектуры и размещение источника звука. Главную роль при этом играют отражения от боковых стен. В большинстве случаев также

желательно, чтобы отражения "спереди" преобладали над отражениями "сзади".

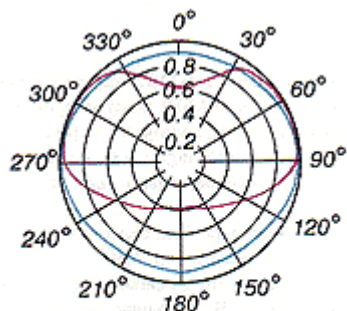


Рис. 9. "Диаграмма направленности" человеческого слуха для частот 1 кГц (синяя), и 6 кГц (розовая).

Из повседневной жизни известно, что степень слышимости звуков, особенно высокочастотных, зависит от направления, с которого они приходят. Иначе говоря, слух человека обладает определенной направленностью, особенно на высших частотах. Графически это может быть изображено в виде кругового графика, или графика диаграммы направленности (англ. Polar Pattern или Polar Plot), рис. 9.

Тонкие концентрические линии на этом графике соответствуют постоянным уровням чувствительности, а жирными линиями

изображается зависимость чувствительности от угла прихода звука. Хорошо видно, что наибольшая чувствительность человеческого слуха к звукам с частотами около 4 кГц соответствует приходу звука не прямо спереди, а примерно на 50 градусов в сторону соответствующего уха. Это и объясняет тот факт, что шумы при стереовоспроизведении обычно заметнее, чем при монозвучании - шипение из расставленных колонок попросту лучше слышно!

Микрофон подобно человеческому уху также может неодинаково воспринимать звуки с различных направлений, поэтому первоначально возникла идея проектировать микрофоны для звукозаписи таким образом, чтобы их характеристики направленности были похожи на характеристики направленности человеческого уха. Однако не учитывался тот факт, что человек постоянно поворачивает голову, благодаря чему форма диаграммы направленности перестает быть постоянной и приближается к круговой (точнее, к субкардиоидной). Кроме того, характеристики направленности у каждого человека свои. Еще более важно то, что мозг человека автоматически корректирует искажения частотных характеристик, вызываемые перемещениями головы или источника звука. Как результат, плавные диаграммы направленности при прослушивании (см. рис. 9) отличаются от диаграмм направленности собственного уха (рис. 10). Поэтому идея "ухоподобного" микрофона на практике себя не оправдала, за исключением так называемых "искусственных голов", с помощью которых делались весьма реалистичные стереозаписи. К сожалению, прослушивать их можно только через стереотелефоны.

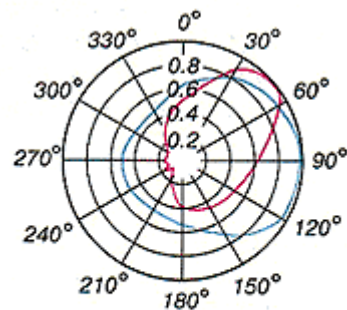


Рис. 10. А это диаграмма направленности правого уха. Синяя кривая – 700 Гц, розовая – 5 кГц.

С тех пор название "капсоль" (capsule) стало общепринятым для обозначения элемента, чувствительного к звуковым колебаниям (то есть электроакустического преобразователя).

Корпус этих микрофонов делался из мрамора.

Похоже, это своего рода традиция американского большого бизнеса: поскольку основные деньги делаются на продажах широко разрекламированной (но посредственной по существу) продукции, предложения по её улучшению практического интереса у боссов не вызывают. Более приветствуются способы удешевления и упрощения производства.

В настоящее время с появлением высококачественных полевых (FET) транзисторов преимущества схем высокочастотного питания капсулей исчезли, а сложность осталась.

Контрольный пакет акций фирмы Georg Neumann GmbH с 1991 года находится в руках фирмы Sennheizer Electronic GmbH.

Точно так же распространяется звук и в других средах. Так, несмотря на то, что механическая жесткость воды весьма велика (что должно очень сильно увеличивать скорость звука), удельный вес воды почти в 800 раз выше. Поэтому скорость звука в воде составляет примерно 1,5 километра в секунду, т. е. всего в 4,5 раза выше, чем в воздухе. Быстрее всего звук распространяется в твёрдых телах. Так, скорость звука в стали примерно втрое выше, чем в воде из-за того, что ее сжимаемость раз в 60 меньше, чем у воды, а удельный вес больше только в восемь раз.

Длина звуковой волны зависит от условий её распространения, например, в воде она почти впятеро выше, чем в воздухе. Частота же звуковой волны от условий распространения не зависит.

Оно может в тысячи и десятки тысяч раз превосходить ускорение свободного падения (с которым падают с высоты различные предметы, в том числе хрупкие). Резцы станков для нарезки оригиналов грампластинок могут развивать ускорение до 10 километров в секунду(!). Это значит, что если бы не ограничение величины хода резца, он развил бы первую космическую скорость меньше, чем за секунду.

Аналогия: Земля круглая, но в пределах футбольного поля её можно считать плоской.

Цилиндрическая волна образуется также и в том случае, если поверхность излучателя представляет собой цилиндр с изменяющимся во времени радиусом. Подобием такого излучателя, в частности, может служить стек акустических колонок (см. также рис. 8).

Этот эффект, равно как и большая заметность реверберации в записи, связан с тем, что мозг человека умеет выделять прямой звук из отражений за счёт разницы в направлении и времени их прихода. Как бы ни была совершенна запись, локализация и разделение источников звука в записи оказывается хуже, чем при непосредственном восприятии. В частности, это одна из причин, по которой при записи, как правило, приходится "заваливать" низкие частоты: время реверберации в помещении на низких частотах обычно много выше, чем на средних и высоких, поэтому реверберация сильно поднимает относительный уровень басов. Во время непосредственного прослушивания это мешает слабо, но при записи создает проблемы.

Акустическое отношение разные исследователи определяют по-разному: одни - как отношение прямого звука к отражённому, а другие - как отношение интенсивности отраженного звука к интенсивности прямого. Общепринято второе.

Первые отражения хорошо слышны в больших помещениях, в обычных комнатах они практически сливаются с прямым звуком.

Избыток звуков "сзади" создает ощущение тревоги и дискомфорта.