

Часть 16.

Взаимодействие акустических систем и помещения – стереофоническое прошлое и многоканальное будущее

Ирина Алдошина

Основной темой всех последних конгрессов AES, как уже отмечалось в предыдущих статьях, было рассмотрение различных аспектов внедрения пространственных систем звукозаписи, звукопередачи и звуковоспроизведения.

На предпоследнем 109-м конгрессе выступил с большой лекцией известнейший в аудиомире специалист Флойд Туле (корпорация Harman, США). Лекция называлась "Акустика и психоакустика громкоговорителей и помещения: стереопрошлое и многоканальное будущее". После этой лекции была развернута большая дискуссия по поднятым в ней проблемам, в ней участвовали всемирно известные специалисты. Поднятые вопросы были настолько интересны, что я решила подготовить обзорную статью по обсуждаемым там проблемам, добавив ряд своих соображений. Именно этим и обусловлено несколько необычное название статьи.

Первую проблему, которая была поставлена Ф. Туле, и вызвала оживленную дискуссию, можно назвать так – **"Музыка и кино – это искусство, аудио – это наука"**. Тезис, что вся аудиопродукция должна звучать хорошо, кажется очевидным, с ним все согласны. Однако определение того, что такое "звучит хорошо" – дело сложное и противоречивое. Некоторые считают, что это дело персонального вкуса, и оно также разнообразно, как вкус к музыке, вину и пр. Такой подход помещает производителей аудио в категорию людей искусства, которые пытаются обращаться к изменяющимся вкусам публики.

Другие имеют более прагматичный подход (который также разделяю я), считая, что аудиоиндустрия – это только проводник искусства, и ее задача – записывать, сохранять и воспроизводить произведения звукового искусства с той максимальной точностью, с которой это позволяет делать технология. Но не следует забывать, что эта индустрия создала такую новую творческую профессию, как звукорежиссер, который получил, благодаря современным технологиям, большие возможности в моделировании звукового пространства, динамики, тембра и пр.

Для понимания того, что такое "хороший" звук, чрезвычайно важны результаты исследований в психоакустике, с тем, чтобы понять связь между тем, что мы слышим, и тем, что мы измеряем. Инженеры создают аудиопродукцию, опираясь на данные измерений определенных параметров, и задача аудиоиндустрии состоит не в том, чтобы довести эти параметры до предельного уровня (что дорого и неоправданно), а в том, чтобы довести их до неслышимого уровня. В связи с этим значительные усилия должны быть направлены на изучение проблемы взаимодействия системы "акустические устройства – помещение – слушатель", с учетом того, что их следует рассматривать как единую звуковую систему со сложными связями внутри нее.

Поскольку проблему расшифровки "звукового образа" в слуховой системе нельзя еще считать решенной (и неизвестно, когда она еще будет решена), то в настоящее время существуют две параллельные системы измерения: объективная и субъективная, которые дополняют друг друга. Именно на их взаимодействии основаны оценки качества звука: как хорошего, или как плохого.

В связи с этим встает другая проблема, которую можно обозначить как **"Слушательские тесты – превращение мнений в факты"**. До настоящего времени широко распространенным было мнение, что субъективные оценки отражают просто разницу вкусов и слуховые способности различных слушателей. Эти факторы, конечно, оказывают влияние, однако при правильно организованных слуховых экспертизах и подборе тренированных слушателей с проверенными слуховыми порогами, их оценки становятся удивительно стабильны, а различие в определении "хорошего" или "плохого" звука очень мало. Добиться этого не так просто, именно поэтому проблемам организации субъективных экспертиз уделяется столько внимания в современных исследованиях. В настоящее время совместными усилиями ряда стран создается новое поколение стандартов по организации субъективных экспертиз пространственных систем звуковоспроизведения, о которых постараемся рассказать в дальнейшем.

Важнейшими факторами, определяющими стабильность и достоверность субъективных оценок, являются следующие:

- условия прослушивания;
- уровни громкости;
- порядок предъявления материала;
- отбор программ;
- отсутствие визуальных признаков,

а также многое другое, что собственно и определяется в стандартах. Но особенное внимание следует обратить на отбор экспертов – как показали исследования, одним из важнейших факторов, влияющих на субъективную оценку качества звучания, является состояние их аудиометрических данных, т.е. соответствие порогов слуха в широкой области частот стандартным пороговым кривым (рис.1).

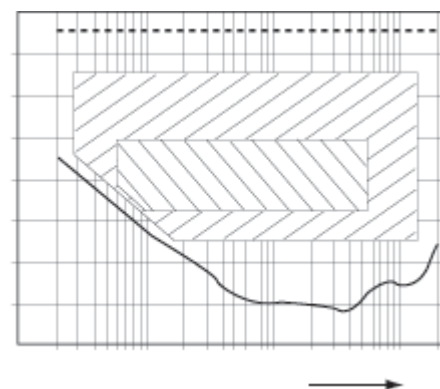


Рис.1 Пороговые кривые слуха

На рисунке 2 показаны результаты субъективных экспертиз для двух групп слушателей: одна с проверенным слухом, соответствующим стандартным порогам, другая – с определенными отклонениями слуха от пороговых значений. Слушателей обеих групп попросили оценить по 10-бальной шкале четыре акустические системы: А, В – очень хорошего качества, С, D – среднего. Для группы с нормальным слухом видна четкая корреляция в оценках с качеством акустических систем (на рис.2 – это сплошные точки). Для второй группы (рис.2 – контурные точки) при переходе к системам С и D разброс в оценках резко увеличивается, проявляется четкий индивидуализм в простановке баллов. На основе таких оценок невозможно судить о качестве звучания этих систем – слушатели скорее хорошо оценивают те акустические системы, которые лучше компенсируют недостатки их слуха. Поэтому для оценки качества звучания акустических систем можно использовать только тех слушателей, которые имеют отклонения по порогам от нулевого уровня на аудиометрической кривой не больше 20 дБ во всем диапазоне частот, – это будет примерно 75% от всех потребителей.

Эта проблема имеет огромное значение, так как мнение потребителей формируется очень часто на основе мнений людей, занимающихся музыкальной индустрией или "около нее". Особенно это относится к некоторым российским журналам по аудиотехнике, где регулярно обсуждается качество звучания аудиотехники, часто на основе индивидуальных прослушиваний отдельными лицами, которые вообще никогда не проверяли свои слуховые пороги (или заведомо имеют их выше нормы, в силу возрастных изменений или регулярных перегрузок слуха высокими уровнями). Как видно из приведенных выше результатов, мнение таких слушателей отражает только их индивидуальные вкусы и особенности слуха, но не соответствует реальному качеству звучания аппаратуры.

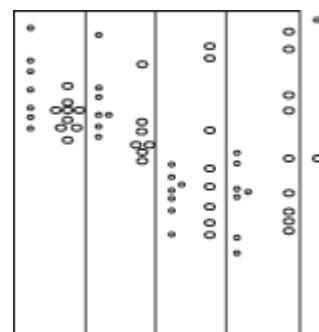


Рис.2 Разброс в оценках качества звука четырех акустических систем различными группами слушателей

Второй важной проблемой является проблема тренировки экспертов: очень часто даже опытные музыканты и звукорежиссеры, участвующие в прослушиваниях, не могут понять, на что именно они должны обращать внимание при прослушивании (многие слышат качество **игры** музыкантов и качество **записи**, а не специфические особенности акустических систем) и не могут выразить свои впечатления словами. Сейчас разрабатывается словарь терминов для субъективной оценки, и созданы компьютерные программы для тренировки экспертов, которые помогают им идентифицировать именно недостатки аудиоаппаратуры.

Многие опытные эксперты (музыканты, звукорежиссеры, инженеры) утверждают, что они могут объективно оценивать качество звучания акустических систем, абстрагируясь от их внешнего вида, размеров и пр. Однако, эксперименты по прослушиванию группы из четырех акустических систем с опытными слушателями (результаты представлены на рис.3) показали, что оценки качества звучания при прослушивании вслепую либо с визуальным контролем сильно отличаются: оценки первых двух систем (дорогих, с хорошим дизайном) сильно повысились, а оценки третьей системы (маленькой) сильно понизились. Таким образом, зрительные впечатления очень активно влияют на слуховую оценку качества, что надо учитывать при желании получить ее максимально объективной.

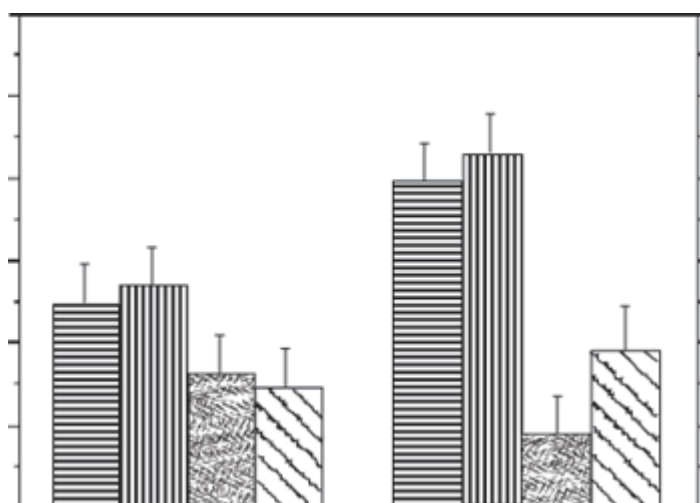


Рис.3 Результаты слуховых оценок при визуальном контроле (слева) и без него (справа)

Известно, какое влияние оказывает помещение на качество звучания акустических систем (полнота, прозрачность, пространственность и т.д.), однако раньше основное внимание оказывалось акустике концертных залов, больших студий и др. В настоящее время, когда общее качество акустических систем значительно улучшилось, влияние небольших помещений прослушивания на субъективные оценки стало предметом серьезных исследований. Эксперименты в специально спроектированной комнате прослушивания, параметры которой, а также положение акустических систем, подача программного материала и пр., находились под компьютерным контролем, – показали значимость для субъективных оценок положения и способов установки систем, положения слушателей (рис. 4). Результаты

экспериментов подтверждают, что только при строгом контроле всех параметров можно добиться повторяемости и статистической значимости субъективных оценок качества звучания, т.е. перейти от "слушательских тестов" к субъективным измерениям.

Следующую обсуждаемую проблему можно назвать так: "Объективные измерения – что мы измеряем, и что мы слышим?". В предыдущие периоды развития аудиотехники существовал огромный разрыв между объективными измерениями и субъективными оценками. Измерялось сравнительно небольшое количество параметров (АЧХ, КНИ, характеристика направленности и др.), измерения проводились недостаточно точно, и результаты измерений не очень хорошо коррелировали с субъективными оценками (по собственному многолетнему опыту разработок акустической аппаратуры в ИРПА могу сказать, что примерно половина времени в процессе разработки акустических систем уходила на обеспечение требований ТУ по объективным параметрам, и еще столько же, если не больше, – на обеспечение хороших субъективных оценок при оценке качества звучания).



Рис.3 Вид комнаты прослушивания

Сейчас ситуация значительно изменилась – компьютерные методы измерений позволили значительно увеличить число измеряемых параметров, повысить точность измерений, обеспечить компьютерное моделирование различных условий в помещениях для измерений и т.д. Задача психоакустики на данном этапе – ответить на вопрос: какие именно, и сколько параметров надо измерять в аудиоаппаратуре, с тем, чтобы с их помощью можно было адекватно судить о качестве звучания. Иначе говоря, установить связь между тем, что мы измеряем, и что мы слышим.

Например, наиболее типичный метод объективных оценок акустических систем основан на оценке амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), измеренных по оси в заглушенной камере. Даже если эта кривая почти идеально ровная (например, с неравномерностью ± 1 дБ, что уже достигнуто в современных акустических системах), в реальном помещении на прямой звук, измеренный в заглушенной камере, накладываются первые отражения от пола, потолка, стен, а также реверберирующие звука. В результате, вид АЧХ в реальном помещении существенно меняется: повышается уровень на низких частотах, появляются пики и провалы за счет резонансов комнаты и др. Усредненная кривая частотной зависимости акустической мощности от частоты для трех позиций системы, измеренная на четырех различных местах для слушателей, показана на рисунке 5. Отчетливо видно влияние резонансов помещения в области ниже 500 Гц – таким образом, в области низких частот помещение оказывает особенно существенное влияние на субъективные оценки, и, следовательно, измерений АЧХ на оси в заглушенной камере явно недостаточно. Для предсказания того, что мы слышим, надо оценивать АЧХ в помещении на различных слушательских местах, а также измерять частотное и пространственное распределение

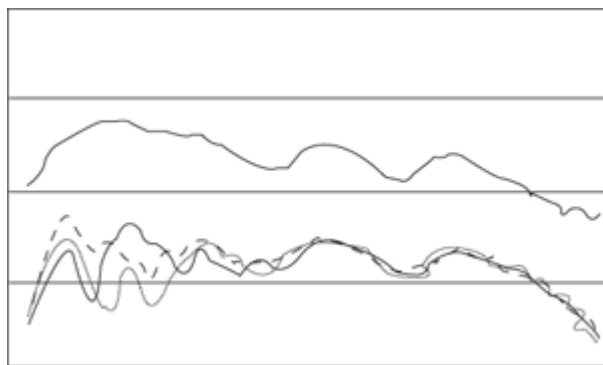
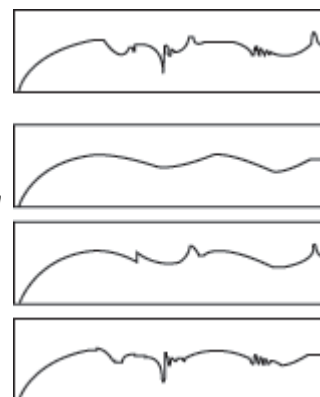


Рис.5 Усредненная частотная характеристика в помещении

акустической энергии в помещении. Это и позволяет сделать внедряемое сейчас в практику измерений "распределение Вигнера". Нужно отметить, что в профессиональных целях (кинозалах, театрально-концертных системах звукоусиления и др.) акустические системы давно оценивались с помощью измерений АЧХ в различных точках помещения на шумовом сигнале. В бытовой технике эти методы только начинают использоваться.

В связи с этим встает вопрос о применении эквалайзеров для выравнивая АЧХ в помещении. Этот вопрос давно обсуждается, и тут имеются противоречивые мнения: одни специалисты считают, что это единственный путь решения проблемы "АС плюс помещение", другие вообще избегают их применения. Трудности заключаются в том, что выравнивая АЧХ на оси, можно "испортить" АЧХ под углами, и, соответственно, ухудшить воспринимаемое качество звука. Поэтому применять эквализацию можно, контролируя характер зависимости изменения характеристики направленности от изменения частоты для данной системы.



Далее, выравнивая АЧХ, можно ухудшить фазовые соотношения и, следовательно, временную структуру сигнала, что также может иметь нежелательные последствия. Наконец, выравнивание на низких частотах, где сильнее всего сказываются резонансы помещения, – это вообще трудная задача. Сейчас появились адаптивные цифровые процессоры, которые могут корректировать временную структуру сигнала (амплитуду и фазу соответственно), – они находятся в стадии активного освоения в аудиотехнике и можно надеяться, что с их помощью удастся решить некоторые проблемы.

Рис.6 Виды информации в АЧХ

Организуя объективные измерения, необходимо решить несколько задач: понять акустические и механические процессы, которые необходимо измерять, т. е. понять "что надо измерить"; установить, какие изменения параметров являются слышимыми (это психоакустическая задача); создать измерительные системы, которые могут четко выявлять слышимые признаки. Например, запись АЧХ несет в себе информацию, по крайней мере, о трех видах значимых для субъективной оценки параметров: о

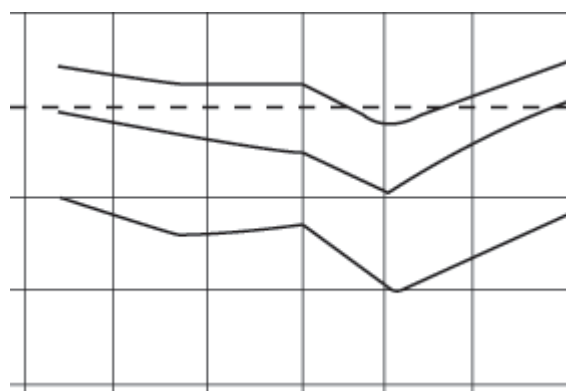


Рис.7 Пороги заметности резонансных пиков

спектральном балансе, резонансах, акустической интерференции (рисунок 6). Важность спектрального баланса между низко-, средне- и высокочастотной частями диапазона совершенно очевидна для оценки качества, его контроль по форме АЧХ может быть выполнен даже визуально. Наличие резонансов является чрезвычайно важным для слуховых оценок, потому что наша слуховая система очень чувствительна к резонансам (их местоположению и форме), поскольку распознавание фонем (звуков) речи происходит именно по положению резонансов (формант), также как распознавание тембров различных музыкальных инструментов в значительной степени зависит от положения их резонансов. Поэтому наличие резонансных пиков на АЧХ несет очень много информации для слуха.

Наконец, на АЧХ имеется ряд пиков, обусловленных интерференционными явлениями, которые имеют существенно другую значимость для слуха, поскольку, в отличие от реальных резонансов, которые отличаются стабильностью, и слуховая система к ним менее чувствительна (своего рода эффект их перцептуального подавления) – эти смещаются или исчезают при изменении позиции микрофона. Слышимость резонансных пиков на АЧХ в зависимости от их амплитуды, частоты и добротности (ширины) многократно исследовалась на разных видах музыкальных программ (особенно четко слух выявляет наличие пиков на АЧХ на розовом шуме), что позволило установить пороги слышимости для этих видов искажений.

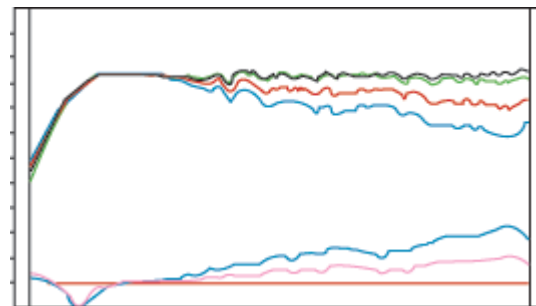


Рис. 8 АЧХ и индексы направленности для монитора

Эксперимент был организован таким образом, что на определенном программном материале, например, звучании симфонического оркестра, в акустические системы подмешивались резонансные пики разной высоты и ширины в различных частотных областях. При этом менялись их параметры и определялись слуховые пороги их заметности. Результаты показаны на рисунке 7, за нулевой принят средний уровень программного материала. Оказалось, что слух наиболее чувствителен к широким пикам (с малой добротностью $Q = 1$) в области 2...3 кГц. Даже, когда амплитуда этих пиков на 20 дБ ниже среднего уровня, они уже замечаются слухом как тембральное окрашивание. Наименее чувствителен слух к узким пикам ($Q = 50$), они могут быть даже на 2...3 дБ выше среднего уровня – отсюда допустимая неравномерность для систем категории Hi-Fi составляет 2 дБ.

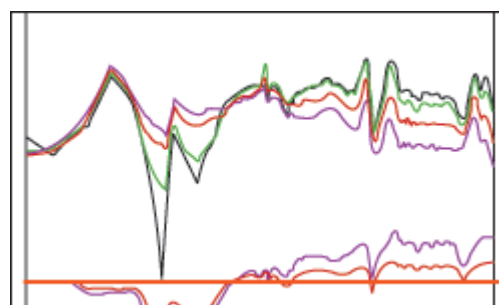


Рис. 9 АЧХ и индексы направленности для бытовой АС

В многополосных системах иногда возникает ситуация, когда за счет фильтрации уровень АЧХ, например, низкочастотного громкоговорителя, понижается после частоты среза на 12 дБ/окт, но, если низкочастотный громкоговоритель имел резонансные пики на АЧХ, они могут быть ослаблены до величины меньше, чем 20 дБ, и будут восприниматься как окрашивание

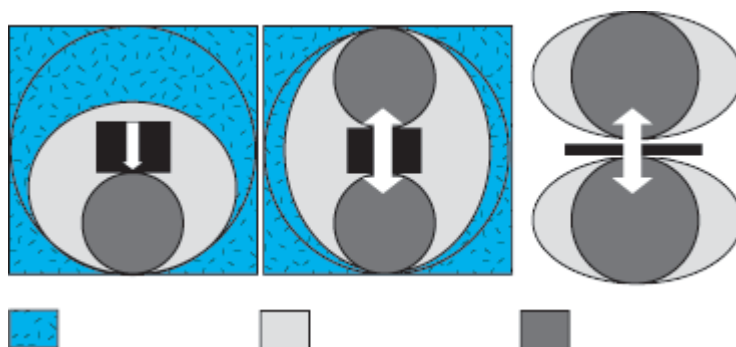


Рис. 10 Различные виды характеристик направленности

(чаще всего это замечается на голосе). При этом суммарная АЧХ акустической системы будет гладкой. Отсюда вытекают требования к методикам измерений, обеспечивающим возможность измерять резонансные пики, соответствующие порогам слышимости (для этого необходимо использовать FFT с очень высокой разрешающей способностью).

Это также касается и других параметров, например, гармонических и интермодуляционных искажений. Экспериментально установлены пороги слышимости гармонических нелинейных искажений на разном программном материале, например, на фортепианной музыке – 1...2%, при этом чувствительность слуха к искажениям нечетных порядков существенно выше, чем к

четным. Современная метрология позволяет измерять пороговые значения нелинейных искажений, так что с этим параметром особых проблем нет, но зато мало данных по исследованию "нелинейной компрессии" в акустических системах, т.е. изменения формы АЧХ при изменении уровня подводимой мощности. Это особенно нежелательно для студийных мониторов – если у них будет изменяться форма АЧХ и соответственно тембр при разных уровнях громкости. Установление субъективных порогов по этим видам нелинейности еще требует исследований.

Таким образом, первоочередная задача состоит в том, чтобы определить достаточный перечень измеряемых объективных параметров, и установить их связь с субъективными оценками аппаратуры. На сегодня эта проблема находится на достаточно высоком уровне ее решения: современные цифровые метрологические станции позволяют производить измерения достаточно большого количества параметров (более 30) с очень высокой точностью как в заглушенных, так и незаглушенных помещениях, причем имеется достаточно четкая корреляция этих параметров с результатами субъективных тестов. На рисунке 8 показана АЧХ на оси и под различными углами, а также частотная зависимость индекса направленности I1 (отношение давления прямого звука к общей энергии) и индекса I2 (прямого звука к энергии ранних отражений) для профессионального студийного монитора с очень высокими субъективными оценками, а на рисунке 9 – те же параметры для бытовой акустической системы, получившей средние оценки.

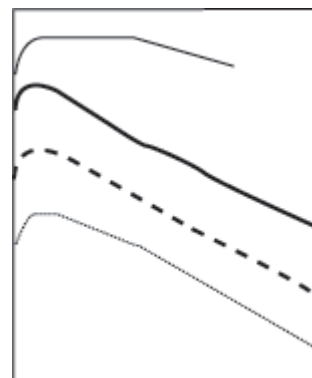


Рис.11 Слышимость отраженных звуков

Однако до окончательного решения проблемы, которое позволило бы по измерениям определенного комплекса объективных параметров предсказать качество звучания аудиоаппаратуры, еще много работы для психоакустики.

Наконец, последнюю обсуждаемую проблему можно было бы сформулировать так: **"Акустические системы и помещение вместе – очень сложный комплекс"**.

Во взаимодействии акустических систем и помещения можно выделить две категории характеристик.

Первая – отраженные звуки, которые определяются взаимодействием характеристик направленности излучателей и отражающей способностью помещения (отделкой стен, формой, размерами помещения и т.д.);

Вторая – резонансы помещения, степень возбуждения и восприятия которых зависит от размеров и формы помещения, расположения излучателей и слушателей и др.

Раньше производитель не имел контроля над тем, в каком помещении будет использоваться его аппаратура, а поскольку помещение – полноправный член единой акустической системы, то сейчас ситуация в аудиотехнике начинает меняться:

во-первых, разрабатываются акустические системы с учетом специфики их установки в помещениях,

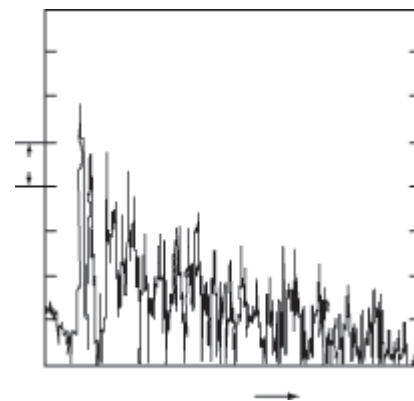


Рис.12 Реверберационная кривая

во-вторых, в распоряжении производителя и потребителя появился новый класс аппаратуры – цифровые адаптивные процессоры, позволяющие улучшить взаимодействие систем и помещения,

в третьих, все больше проявляется тенденция, когда производитель берет на себя оптимальную установку сложных акустических комплексов (например, аппаратуру для домашнего театра) в помещениях у потребителя. Можно ожидать в будущем, что дома уже будут строиться с полным встроенным комплексом аудио-видеоаппаратуры.

Первая задача – взаимодействие характеристик направленности и отраженных звуков от стен помещения, – решалась в разные периоды различными способами. Даже в монофоническую эпоху было много попыток улучшить это взаимодействие за счет размещения излучателей в углах помещения, создания разных систем псевдостереофонии и т.д. В эпоху стерео появлялись многочисленные попытки изменить соотношения прямого и отраженного звука с целью улучшения пространственных иллюзий у слушателей (создать у слушателя впечатление нахождения в концертном зале). Ближе всего к решению этой проблемы подошла только бинауральная стереофония.

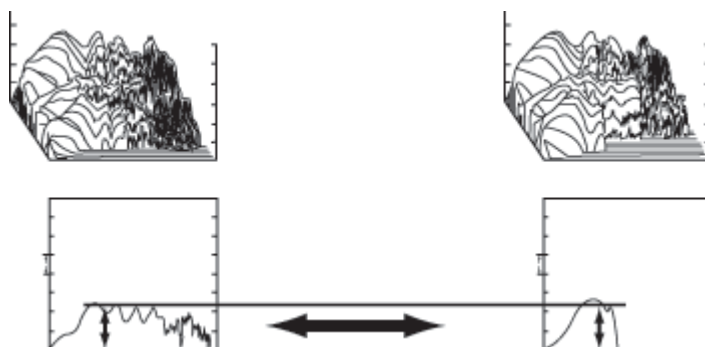


Рис. 13 Трехмерные спектры отраженных сигналов

Среди всех используемых в стереофонии излучателей наиболее типичные характеристики направленности представлены на рисунке 10, где показана направленность излучения для низких, средних и высоких частот. Монополь (10а) – обычный излучатель прямого излучения, 10б – биполь, 10в – диполь (например, электростатический излучатель). Установка излучателей с такими разными характеристиками направленности в одном и том же помещении создает у слушателей совершенно разные ощущения пространственности, ясности и полноты, поэтому выбор и согласование характеристик направленности акустических систем и параметров помещения – это большое искусство. Например, в большинстве современных студий, где обычно применяются мониторы прямого излучения, используются сильно заглушенные контрольные комнаты, что позволяет звукорежиссеру точнее контролировать звук. В жилых помещениях необходим компромисс между уровнем прямого и отраженных звуков, который требует большого опыта и знаний в выборе и расстановке излучателей и обработке помещений.

В настоящий период, период внедрения многоканального звука, ситуация меняется – впервые в истории аудиотехники могут быть выбраны такие конфигурация и расположение излучателей в домах потребителей, которые обеспечат им пространственное впечатление, близкое к тому, что было при записи. Сейчас идут дебаты относительно выбора числа каналов (5.1; 7.1, даже 10.2), способов кодирования, расположения излучателей и т.д.

В профессиональной аудиотехнике (в кинопрокате, например) есть стандарты для выбора конфигурации и характеристик направленности излучателей. Для домашнего применения многоканальных систем стандарты сейчас разрабатываются. В отличие от стереосистем, где относительное ощущение пространственного звукового образа создается только в узкой зоне стереоэффекта, от многоканальных систем можно ожидать, что они создадут значительно более широкую зону пространственного звука, окружающую слушателя со всех сторон, менее чувствительную к условиям вторичного помещения.



Для создания таких пространственных иллюзий в малых помещениях необходимо, кроме размещения специальных тыловых (surround) излучателей, учесть то, что добавление электронной декорреляции между левыми и правыми каналами усиливает ощущение пространственности. Учитывая возможности, например, пятиканальных систем, появляется много вариантов для художественного использования

этого метода. Возможность размещения слушателей, в основном, в условиях прямого излучения от пятиканальной системы, делает необходимым выбор излучателей со специальными характеристиками направленности, или размещение звукопоглощающего материала на стенах помещения в направлении максимального излучения.

В любом случае необходима разработка новых измерительных методов для оценки допустимого уровня отражений и их влияния на восприятие пространства и других характеристик при использовании многоканальных звуковых систем.

Достаточно много результатов по слышимости отраженных звуков было получено для больших концертных залов и студий, однако для маленьких помещений результатов еще недостаточно. Некоторые результаты по слышимости отраженных сигналов на речи представлены на рисунке 11. Нижняя кривая представляет порог обнаружения отраженных звуков при разных временах задержки (от 0 до 60 мс) и разных уровнях относительно прямого звука (уровень прямого звука принят за 0 дБ). На пороге обнаружения слушатели описывали свои ощущения как "появление пространственности" при сохранении локализации источника на прямой звук. При повышении уровня отраженных звуков на 10 дБ (следующая кривая) слушатели отмечали изменение размеров пространственного образа или его сдвиг, но локализация четко шла по прямому звуку.

Дальнейшее повышение уровня отраженных звуков приводит к ощущению появления второго источника, и затем к смене локализации на отраженный звук. На второй кривой точками обозначены типичные для маленькой комнаты первые шесть отражений – очевидно, что они попадают на кривую, где слушатели четко отмечают изменение пространственного образа в размерах и его сдвиг, т.е. маленькие комнаты существенно влияют на формирование пространственного образа. Эти кривые получены для речевых и других видов сигналов (музыка, шум и др.). Форма кривых изменяется, но неизменным остается общий вывод – все отраженные звуки влияют на восприятие пространственного образа, т. е. помещение – это полноправный участник звуковой системы.

Отсюда встает вопрос: что нам следует измерять в помещениях прослушивания? Обычно измеряются кривые спада энергии во времени (рисунок 12) – реверберационные кривые. Но такие кривые не дают прямой корреляции со слуховыми ощущениями. Гораздо более четкая связь существует между спектральным уровнем отраженных сигналов в разные моменты времени и их слуховым восприятием. На рис.13 показаны два вида кумулятивных спектров отраженных звуков в определенной точке помещения, которые по-разному воспринимаются на слух, чего нельзя установить по реверберационной кривой. Полезнее снимать эту кривую в разных частотных диапазонах, выбирая испытательный сигнал, отфильтрованный соответствующим полосовым фильтром.

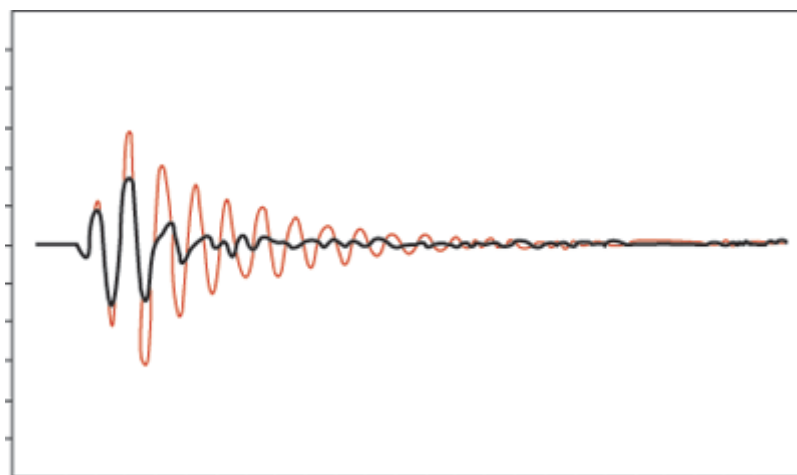


Рис.14 Результаты выравнивания АЧХ и переходных процессов

Второй вид характеристик, о которых было сказано выше, – резонансы помещения. Все помещения имеют резонансы. При этом, чем меньше объем помещения, тем в более высокочастотной части они находятся, например, для помещения объемом 7 x 10 x 5 м первый резонанс помещения равен 17,2 Гц, а для помещения с размерами 3,5 x 5 x 2,5м первая резонансная частота равна 34,4 Гц, вторая – 68,8 Гц и т.д. В современных многоканальных системах обычно используются низкочастотные блоки (subwoofer), диапазон которых совпадает с областью резонансов помещения, что может существенно изменить тембр звучания низких частот. Поэтому встает серьезная проблема эквализации на низких частотах.

Подходить к этой проблеме нужно с большой осторожностью: во-первых, надо применять измерительные методы с большой разрешающей способностью (не более 0,1 октавы), чтобы уловить эти резонансы, а, во-вторых, использовать точные параметрические фильтры для их вырезания (обычные третьоктавные эквалайзеры не подходят). Поскольку помещение ведет себя как минимально-фазовая система, выравнивание резонансных пиков в амплитудной области приведет к соответствующему уменьшению переходных процессов во временной области. При этом не надо стараться убирать провалы на АЧХ – они обычно вызваны интерференционными эффектами, к ним слух менее чувствителен, и убрать их можно простым сдвигом позиции слушателей. На рисунках 14а,б показан результат эквализации выраженного резонанса на частоте 46 Гц, выявленного при измерениях с высокой разрешающей способностью. Видно, насколько улучшились при этом переходные искажения, соответственно, звук на низких частотах стал более точный, сухой, не бубнящий.

Подводя итоги, можно сказать, что обсуждаемые здесь вопросы, конечно, не решают всей проблемы перехода на многоканальные системы и их взаимодействия с помещением. Однако, в целом, можно заключить, что в понимании этих проблем уже имеется значительный прогресс, и, если он будет продолжаться дальше такими же темпами, можно ожидать, что аудиоиндустрия сможет обеспечить слушателей реальным пространственным звуком в любых помещениях.

Центр внимания сейчас сосредоточен на исследованиях в психоакустике – именно от них зависит темп развития аудиоиндустрии. Поэтому во всем мире психоакустике уделяется такое

внимание, и можно только пожалеть, что у нас, при таком интеллектуальном потенциале, вообще нет научных центров, которые бы занимались этой тематикой комплексно.