

Акустическая метрология

Часть 7

Организация субъективных экспертиз акустической аппаратуры

И.А. Алдошина

Акустическая аппаратура принципиально отличается от всех видов электронной аппаратуры тем, что оценка ее только по измерениям объективных параметров является условием необходимым, но недостаточным. Конечная цель создания всех видов акустической аппаратуры (акустических систем, громкоговорителей, стереотелефонов и др.) – обеспечение хорошего качества звучания (если речь идет об аппаратуре hi-fi, то под этим понимается максимальная близость к естественному звучанию источника).

Проблемам восприятия и расшифровки слухового образа слуховой системой уделяется в настоящее время огромное внимание (психоакустика – одно из наиболее быстро развивающихся направлений науки), поскольку от полученных результатов зависят темпы дальнейшего развития аудиотехники. Однако, несмотря на то что используемый набор объективных параметров для оценки электроакустической аппаратуры постоянно обновляется и расширяется, однозначной связи с воспринимаемым качеством звучания он не обеспечивает, поэтому субъективная экспертиза является обязательной процедурой оценки для всех звеньев звукозаписывающих и звуковоспроизводящих трактов (от студийного микрофона до бытовой акустической системы).

Результаты субъективной экспертизы служат главным критерием оценки уровня аппаратуры различных фирм-производителей. В соответствии с действующей ранее системой стандартизации в нашей стране все виды аппаратуры проходили субъективную экспертизу при сдаче разработки, постановки ее на производство, при типовых и периодических испытаниях. Испытания осуществлялись в аттестованных центрах, по результатам выдавался протокол и утверждался образец по качеству звучания, который в дальнейшем служил эталоном для сравнения на производстве.

Хотя процесс оценки качества звучания всех видов звуковой аппаратуры является процедурой субъективной, результаты которой существенно зависят от мно-

гих факторов: параметров помещения прослушивания, выбора тестовых программ, отбора и методов тренировки экспертов, методов выбора оценок и обработки результатов, требований к источникам программ и т.д., тем не менее вопросам разработки методик организации и проведения субъективных экспертиз уделяется такое большое внимание, что в настоящее время отработаны единые правила их проведения, обеспечивающие достоверность и повторяемость полученных результатов оценки. Созданы международные стандарты (которые являются обязательными для всех производителей аудиоаппаратуры), например IEC 268-5, AES-20-96 и др., национальные стандарты в Германии, Америке, Японии, России (например, ГОСТ 4.202.003-84) и др.

Стандарты и рекомендации (а также различные методические документы, созданные на их базе) определяют требования:

- к условиям прослушивания (помещение, порядок отбора и размещения образцов и слушателей, параметры звуковоспроизводящего тракта и т.д.);
- к процедуре тестирования (выбор программного материала, методы оценки, порядок прослушивания, интерпретация полученных результатов);
- к подбору экспертов (проверка слуховых порогов, опыта прослушивания, способов тренировок и т.д.);
- к видам оценочных таблиц и способам статистической обработки результатов.

Действующие в данный момент стандарты относятся к организации субъективных экспертиз стереоаппаратуры. Поскольку в настоящее время широко используется аппаратура для пространственных систем Surround Sound, то сейчас ведется большой комплекс научных работ (этому посвящено много докладов на конгрессах AES, статей в JAES, JASA и др.), а также подготовительная работа в комитетах стандартов IEC, AES и др. по созданию новых стандартов для организации субъективных экспертиз таких систем, которые, очевидно, будут выпущены в ближайшее время.

В любом случае организация и проведение субъективных экспертиз – это сложная и стандартизованная процедура, позволяющая получить довольно достоверную информацию об уровне качества звучания. В связи с этим хотелось бы обратить внимание, что в

Примечание. Начало см. «Install Pro», 2001, №5-6 (13-14), 2002, №1-5 (15-19)

наших популярных журналах по аудиотехнике появляются многочисленные статьи, в которых дается оценка качества звучания различной аппаратуры (громкоговорителей, микрофонов, стереотелефонов и пр.) на основании только личного мнения автора, который послушал ее в совершенно неподходящих условиях, на случайных программах и случайных источниках. Следует понимать, что эти статьи никак не характеризуют реальное качество звучания данной аппаратуры, а скорее отражают вкусы и настроение автора в данный момент.

В предлагаемой статье будут кратко приведены требования стандартов к организации субъективных экспертиз наиболее распространенной стереоаппаратуры – акустических систем (аналогичные стандарты существуют для организации экспертиз микрофонов, стереотелефонов и пр.).



Рис. 1. Жилая комната

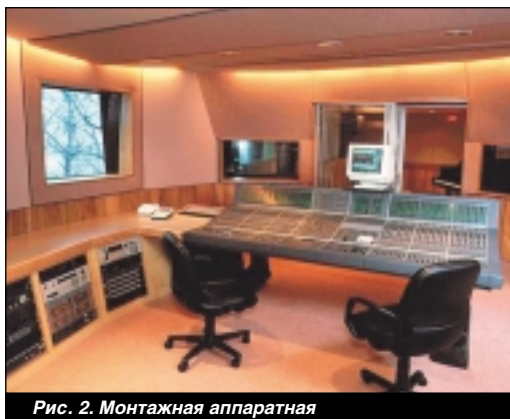


Рис. 2. Монтажная аппаратная

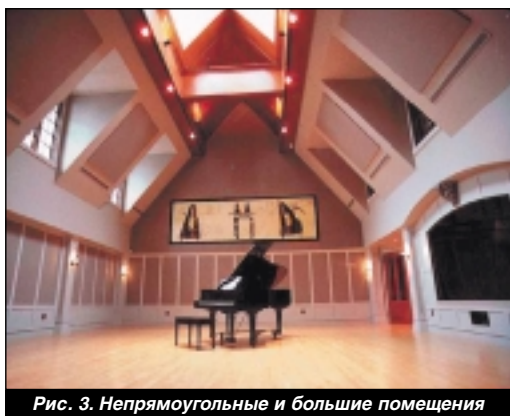


Рис. 3. Непрямоугольные и большие помещения



Рис. 4. Кривые спада звукового давления в помещении

Условия прослушивания. Помещение для прослушивания должно максимально близко соответствовать тому, для которого аудиоаппаратура предназначена: если это аппаратура бытового применения, то должна использоваться комната, типичная для обычного домашнего прослушивания (с соответствующей обстановкой) (рис. 1); для студийных агрегатов должны быть условия, близкие к аппаратным звукозаписи (рис. 2).

В соответствии с международными рекомендациями размеры помещения (преимущественно прямоугольной формы) по стандарту IEC 268-5 должны составлять: объем 80 м^3 с соотношением сторон $2,8 \text{ м} \times 6,7 \text{ м} \times 4,2 \text{ м}$; по AES-20-96 допускается использование помещений меньшего объема от 42 м^3 ; в отечественном стандарте 4.202.003-84 предлагается использовать помещения с объемом в пределах $60 - 110 \text{ м}^3$ при высоте от 4 м , длине от 6 м (при этом поверхности помещения, отражающие и поглощающие звук, должны быть расположены симметрично). Использование комнат больших размеров и непрямоугольной формы (рис. 3) также допускается, если звуковая аппаратура разрабатывалась специально для этих условий (что должно указываться в отчете по испытаниям).

Основные контролируемые параметры в помещении прослушивания – это время реверберации и однородность структуры поля. Время реверберации, измеренное в 1/3-октавных полосах белого шума, составляет (в соответствии с требованиями IEC 268-5) $0,3$ и $0,6 \text{ с}$ в диапазоне $250 - 4000 \text{ Гц}$ с разбросом не более $\pm 25 \%$; на частотах ниже 250 Гц и выше 4000 Гц оно может отличаться более чем на 25% , но быть не выше $0,8 \text{ с}$. Рекомендуется оптимальное значение $T_{ср}$ выбирать равным $0,4 (\pm 0,05) \text{ с}$. В отечественном стандарте указаны следующие требования: на средних частотах время реверберации $0,45 (\pm 0,17) \text{ с}$ (в области низких и высоких частот оно может быть выше или ниже в пределах 20%).

Рекомендуется также осуществлять контроль структуры поля в комнате, для чего необходимо произвести запись АЧХ (на 1/3-октавном розовом шуме) при расположении микрофона на всех слушательских местах. Это позволяет выявить наличие выраженных мод (резонансов) помещения и принять меры для их демпфирования, особенно в области низких частот. Необходимо также оценить гладкость кривых спада SPL (уровней звукового давления): после выключения сигнала должен быть быстрый спад в первые 10 мс , затем медленный ($10 - 20 \text{ дБ}$ за $10 - 20 \text{ мс}$) до уровня шумов в помещении. Если спад больше 20 дБ за это время, то следует провести акустическую коррекцию помещения (рис. 4). Для по-

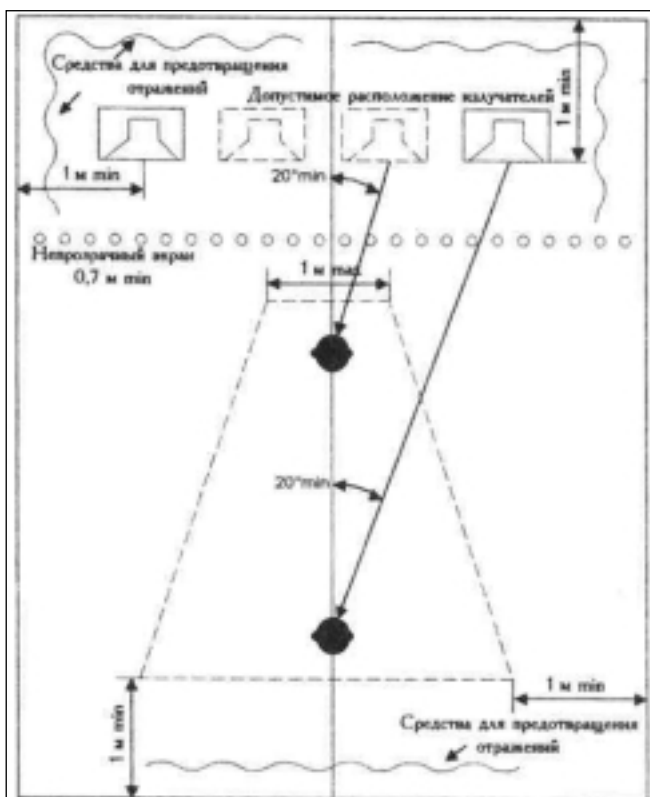


Рис. 5. Схема расположения акустических систем и экспертов при прослушивании

давления слышимых эхосигналов и удовлетворения приведенным выше требованиям, надо принять определенные меры: например, рекомендуется пол закрыть ковром на 75 %, потолки сделать акустически отражающими и т.д. Таким образом, создание комнаты прослушивания – достаточно сложная архитектурная и акустическая задача, которая требует разработки специального проекта и тщательного контроля параметров, так как прослушивание акустических систем в неподготовленных помещениях может дать совершенно искаженную картину из-за тембрального окрашивания звука, вносимого помещением. Солидные фирмы, производящие акустическую аппаратуру (например, KEF, B&W и др.), уделяют этому вопросу очень серьезное внимание.

В помещении прослушивания необходимо также тщательно контролировать климатические условия, они должны соответствовать следующим требованиям: температура 18 – 35°; влажность воздуха 25 – 75 %; атмосферное давление 86 – 106 кПа.

Уровень фонового шума должен быть меньше 35 дБ по шкале А (ISO 1996-1), это одно из самых трудновыполнимых требований, которое предполагает использование различных средств звуко- и виброизоляции для защиты помещения от шума.

Расположение излучающих систем и слушателей в помещении прослушивания является принципиально важным этапом в организации субъективных экспертиз. На основании IEC 268-5 требуется, чтобы рабочая ось оцениваемых образцов акустических систем была направлена горизонтально, расположена на высоте 1,25 м от пола и сориентирована на точку, находящуюся в зоне размещения экспертов.

В документе AES-20-96 рекомендуется установка образцов излучателей таким образом, чтобы их фронтальные панели были на расстоянии не менее 1 м от окружающих поверхностей (рис. 5). Для уменьшения влияния ранних отражений на тембральную окраску и пространственное восприятие звука рекомендуется принять определенные меры, например разместить звукопоглощающие материалы на стенах вблизи установленных образцов.

Испытуемые образцы акустических систем должны устанавливаться так, чтобы угловое разделение АС для слушателей, находящихся на центральной оси, составляло не менее 40° (идеально 60°).

При прослушивании в относительно небольших комнатах (минимально возможные размеры в соответствии со стандартом) возможны компромиссы: испытуемые изделия и эталонные образцы могут быть расположены на расстоянии не менее 0,5 м от боковой стены и не менее 0,7 м от задней стены помещений, при этом ширина стереобазы должна быть не менее 2 м (это изменение надо обязательно отражать в протоколах).

Правильность установки пары акустических систем тестируется прослушиванием качества виртуального образа (при подаче на них розового шума). При этом слушатель, находящийся на оси между двумя АС, должен слушать компактный виртуальный образ между ними при смещении вдоль оси от начала до конца слушательской зоны. Если образ расплывается или изменяется тембр, то следует принять меры для дополнительного заглушения задней стены. Если АС предназначены для специального расположения в помещении (например, АС, встроенные в стену или низкочастотный блок с дополнительными громкоговорителями и соответствующими разделительными фильтрами), то их установка при прослушивании должна быть оговорена производителем. В любом случае, при выбранной позиции акустических систем необходим контроль амплитудно-частотной характеристики и характеристики направленности (на шумовом сигнале).

Расположение слушателей: в соответствии с рекомендациями AES-20-96 предпочтительнее указывать «площадь прослушивания», а не отдельно фиксированные слушательские места. Эта площадь должна быть на расстоянии не менее 1 м и не более 3 м от фронтальных поверхностей АС, а также не менее 1 м от задней стены, ширина зоны должна соответствовать расстоянию между АС (см. рис. 5). Слушатели должны иметь возможность свободно перемещаться внутри зоны, расстояние между экспертами должно быть не менее 0,6 м.

Параметры звуковоспроизводящего тракта: общее требование заключается в том, чтобы технические характеристики всех элементов тракта (диапазон, мощность, КНИ и др.) были значительно лучше, чем у испытуемой акустической аппаратуры.

Общее активное сопротивление всех соединительных линий (от выхода УНЧ до клемм АС) не должно превышать 0,2 Ом. Источники программ (как аналоговые, так и цифровые) могут быть только высшей категории качества. Перед прослушиванием все аппараты, входящие в схему, включают, прогревают, устанавливают в режимы работы, соответствующие их нормативной до-

кументации. Эталонная и испытуемая аппаратура должна иметь возможность поочередного подключения к выходу усилителя мощности с помощью переключающего устройства, обеспечивающего также и синхронное переключение табло с высвечиваемыми номерами или символами, присвоенными испытуемому и эталонному образцам. Все характеристики аппаратуры, входящей в звуковоспроизводящий тракт, указываются в протоколе. Как показывает опыт прослушиваний, выбор аппаратуры для всех звеньев тракта оказывает чрезвычайно сильное влияние на результаты экспертизы и должен производиться очень тщательно.

Процедура тестирования включает следующие этапы.

- Выбор материала программ – это отдельная независимая процедура. Фрагменты программ должны подбираться таким образом в тестовую программу, чтобы максимально полно идентифицировать пространственные и тембральные характеристики звучания акустических систем. В рекомендациях AES предлагается использовать в основном цифровые записи, так как они сохраняют свои характеристики во времени и могут точно копироваться. Тестовая программа должна состоять из следующих фрагментов: симфонического оркестра, рояля, скрипки, виолончели, деревянных и медных духовых инструментов, хорового пения без музыкального сопровождения, сольного пения (мужские и женские голоса) с инструментальным сопровождением, джазового оркестра, рок-групп и речи. Последнюю предпочтительно записывать в безэховых камерах, остальные записи должны выполняться в профессиональных студиях и концертных залах (преимущественно запись «живого» звука микрофоном без дополнительной обработки). Акустически записанные выборки могут быть дополнены электронной музыкой для тестирования АС на этих видах сигналов. Кроме того, для предварительной проверки испытываемых систем и установки уровня громкости могут использоваться технические сигналы: розовый шум и скользящий тон.

- Выбор метода субъективной оценки – в практике проектирования аудиоаппаратуры в основном используются два метода:

метод парного сравнения – когда испытуемая пара акустических систем сравнивается со специально отобранной эталонной парой. При этом слушатели оценивают большую или меньшую близость звучания испытуемого образца к эталонному. Прослушивание должно производиться «вслепую» (через визуально непрозрачный, но акустически прозрачный экран). Местоположение этого экрана показано на рис. 4. Влияние экрана не должно приводить к изменению частотной характеристики изделия больше, чем на 1 дБ в области 10 кГц;

метод абсолютной оценки качества звучания – сравнение звучания испытуемого образца с «живым» звуком, сохраненным в памяти эксперта. Этот метод используется главным образом для оценки высококачественной аппаратуры hi-fi (hi-end) и требует привлечения экспертов, имеющих большой опыт слухового контроля и постоянную практику прослушивания натуральных звучаний (звукорежиссеры, музыканты и т.д.).

Были предприняты попытки создания методики прослушивания на основе прямого сравнения с «живым» звуком для акустических систем высшей категории hi-end. Предлагалось разместить на сцене исполнителей с какими-либо музыкальными инструментами и испытуемую аппаратуру и предложить высококвалифицированным экспертам сравнить звучание инструментов и звука, излучаемого через акустические системы, однако организация такого рода экспертизы – процесс чрезвычайно сложный, и он не вошел в международные стандарты.

- Длительность прослушивания каждого фрагмента при парном сравнении звучания должна составлять 30 – 60 с по AES или 20 – 40 с (IEC 218-5) с перерывом 1 – 2 с. При таком прослушивании один фрагмент программы «А» должен переключаться на образец и на испытуемое изделие с интервалом 1 – 2 с, переход на другой фрагмент «В» должен происходить с интервалом 10 – 15 с.

- Уровни громкости прослушиваемых программ также оказывают существенное влияние на результаты сравнительной и абсолютной оценок. Желательно, чтобы уровень громкости воспроизводимого сигнала был близок к средней громкости оригинального источника. Однако это требование не всегда реализуемо (например, прослушивание симфонического оркестра потребовало бы уровня громкости 95 дБ). Поэтому используется несколько уровней громкости в зависимости от вида программы, которые выбираются ступенчато через 10 дБ (65; 75; 85 дБ). Требуемый уровень устанавливается по шумомеру на розовом шуме (шкала А). При парном сравнении уровни испытуемого изделия и образца выравниваются до начала экспертизы на слух по указанию экспертов.

Подбор и методы тренировки экспертов также являются существенными моментами в организации субъективных экспертиз. В качестве экспертов должны привлекаться опытные тренированные слушатели с проверенным слухом: порог слышимости не более 20 дБ в диапазоне 125 – 8000 Гц, дифференциальный порог слуха к изменению уровня сигнала на 1000 Гц не более 3 дБ, проверка чувствительности слуха (т.е. снятие аудиограмм) должна производиться не реже одного раза в

год (на это следует обратить особое внимание, поскольку имеется достаточно много людей с отклонениями слуховой чувствительности и их мнение не может дать объективные результаты). Учитывая, что с возрастом чувствительность слуха, особенно к высоким частотам, резко уменьшается (примерно на 1000 Гц каждые десять лет), основной состав экспертов должен быть моложе 35 лет.

В группе должно быть не менее 4 – 6 экспертов для получения статистически значимых результатов. Для оценки степени их тренированности можно воспользоваться методом «самосовпадений», когда несколько раз ранжируется одна система вслепую. Опытный слушатель дает повторяющиеся результаты. Слушатели должны при прослушивании меняться местами, чтобы проверить воспринимаемый слуховой эффект на оси и вне оси, что особенно важно для стереосистем. Группа экспертов должна работать непрерывно не более 20 мин, длительность перерыва равняется периоду прослушивания тестовой программы. Эксперт может участвовать в прослушивании не более 2 ч в день.

Виды оценочных таблиц: при прослушивании методом «парного сравнения» каждый фрагмент тестовой программы следует воспроизводить поочередно, через испытываемую пару изделий и образец с соответствующей индикацией их условных номеров. Степень предпочтения изделия к качеству образца оценивается по семибалльной шкале: минус 3 (значительно хуже); минус 2 (хуже); минус 1 (незначительно хуже); 0 (равноценно); плюс 1 (незначительно лучше); плюс 2 (лучше); плюс 3 (значительно лучше).

Итоговая оценка подсчитывается по следующей формуле:

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m l_{ij}, \text{ где } n - \text{число экспертов, } m -$$

число программ, l_{ij} – оценка i -эксперта на j -программе. Если итоговая оценка попадает в интервал, указанный в таблице, то соответственно общая оценка испытываемой пары акустических систем по сравнению с образцом относится к категории «хуже», «равноценно» или «лучше».

Для отбора образцов и оценки высококачественной аппаратуры можно использовать метод абсолютной оценки по девятибалльной шкале, высшая оценка – 5 баллов, низшая – 1 балл с интервалом в 0,5.

Диапазон изменения итоговой оценки	Качество звучания изделия по сравнению с качеством звучания образца
От минус 3 до минус 5	Хуже
От минус 0,5 до плюс 0,5	Равноценно
От плюс 0,5 до плюс 3	Лучше

Даже при проведении экспертизы по абсолютному методу полезно периодически осуществлять прослушивание опорной акустической системы, которая ранее уже была оценена, это позволяет устранить рассеяние слушательского внимания.

Одна из наиболее трудных задач при организации субъективных экспертиз – это обучение экспертов, которых необходимо приучить обращать внимание и выявлять основные недостатки в воспроизведении за счет акустических систем, т.е. понять, какие

именно искажения вносят акустические системы в звучание различных инструментов и голоса (обычно, когда приглашают профессиональных музыкантов, они главным образом обращают внимание на качество исполнения, в этом отношении звукорежиссеры легче адаптируются к поставленным задачам). Большой заслугой рабочей группы в AES является разработка рекомендаций (и внесение их в стандарт AES-20-96) по классификации наиболее типичных искажений, возникающих в акустических системах, на которые в первую очередь должны обращать внимание эксперты. К их числу относятся: сохранение спектральной однородности (баланс высоких и низких частот, неокрашенность звучания и др.); передача звуковой панорамы (глубина и ширина панорамы, делимость мнимых источников, стабильность панорамы и т.д.); воспроизведение пространства (передача прямого и ревербирующего звука, передача размеров пространства и др.); динамические и переходные искажения (отсутствие модуляции, компрессии, четкость тихих звуков, отсутствие слышимых призвуков при увеличении громкости и т.п.); стабильность звукового образа и отсутствие слушательской усталости при длительном прослушивании. Обучение экспертов до уровня, когда они в состоянии четко различать эти признаки, требует значительного времени и слушательского опыта.

Полный отчет о полученных результатах прослушивания должен состоять из основного (базового) отчета и ряда дополнительных пунктов.

Основной отчет содержит: итоговые оценки; описание используемых методов; перечень несоответствий с рекомендациями стандартов; размеры комнаты прослушивания; расположение слушателей и громкоговорителей; описание музыкальных фрагментов; основные данные экспертов (количество, пол, возраст, тренированность, острота слуха). К дополнительным данным обычно относятся даты прослушивания; детали метода, включая используемые статистические методы обработки результатов; план расположения слушателей и испытываемых систем в комнате прослушивания; время реверберации на частотах 125, 500 Гц, 2 и 8 кГц; индикация эффекта низкочастотных мод в комнате; температура, давление и влажность воздуха; среднее смещение расположения громкоговорителей; идентификация всех компонент тракта прослушивания; инструкция слушателям; интерпретация результатов и заключение.

Подводя итоги приведенных выше требований, следует отметить, что организация субъективных экспертиз, включая выбор экспертов, акустики комнат прослушивания, подбор тестовых программ и методов их оценки и др., является чрезвычайно сложной процедурой, требующей тщательной подготовки. Однако именно такая подготовка может обеспечить достоверность и стабильность результатов. Как показывает многолетний мировой опыт выпуска студийных контрольных агрегатов и аппаратуры hi-fi, от качества организации субъективных экспертиз в значительной степени зависит уровень производимой фирмой аппаратуры (фирмы Tannoy, KEF, B&W и др.).