

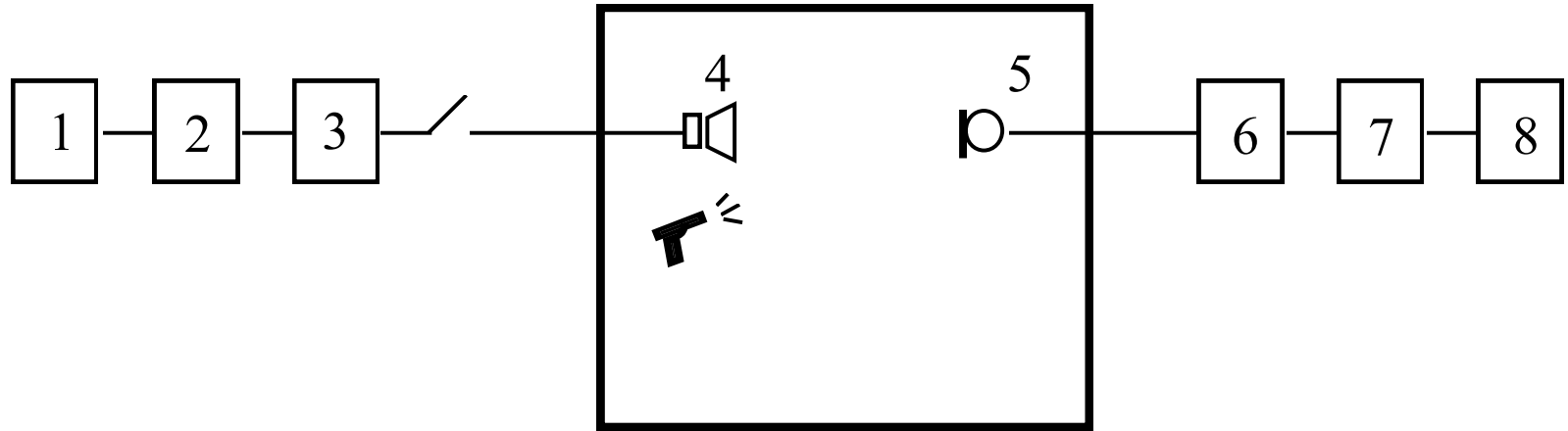
Измерения и контроль в электроакустике и звуковом вещании

Непрерывный рост требований к качеству и эффективности работы систем связи определяет жесткие нормы параметров качества, которые должны соблюдаться в течение всего срока эксплуатации. Контроль параметров осуществляется с помощью типовых средств измерений.

Измерение времени реверберации

Для оптимальных акустических условий требуется обеспечить вполне определенную, зависящую от функционального назначения помещения частотную характерис-

тику времени реверберации. Поэтому и ее измерение производится в различных полосах спектра звуковых частот. Структурная схема измерительного тракта представлена на рис.



1—источник измерительного сигнала; 2,7—полосовые фильтры; 3,6—усилители; 4—громкоговоритель; 5—измерительный микрофон; 8—самописец уровней.

Гармонические колебания для измерения времени реверберации не используют, т.к. при измерении на чистых тонах в помещении могут возникнуть стоячие волны и ре-

результаты измерений будут существенно отличаться от реальных. Поэтому оптимальным является шумоподобный сигнал по возможности с более широким спектром. Для возбуждения звукового поля можно также использовать звуковой генератор с частотно-модулированным сигналом (генератор "воющего" тона). Иногда в качестве измерительных используются короткие импульсные сигналы (как известно, имеющие широкий спектр) – выстрелы из ружья или стартового пистолета. С помощью фильтров из принятого микрофоном сигнала выделяют желаемую полосу частот. Учитывая громоздкость измерительной аппаратуры, измерительные сигналы зачастую заранее записывают на магнитофон.

Для измерения частотной зависимости времени реверберации перед усилителем необходимо устанавливать полосовые фильтры с шириной не более октавы. При пос-

троении характеристик результаты измерений относят к среднегеометрической частоте фильтра. Среднегеометрические частоты октавных полос стандартизованы и равны 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

В качестве излучателей применяют громкоговорители по возможности не обладающие направленными свойствами. Создаваемые в помещении уровни звукового давления испытательного сигнала должны быть около 100...120 дБ, чтобы обеспечить регистрируемый спад звукового давления на 60 дБ после прекращения действия источника звука (но не менее 40 дБ).

При измерении времени реверберации в студиях, театрах и т.п. громкоговорители устанавливаются в центре предполагаемого размещения исполнителей.

Микрофон приемного тракта не должен обладать направленными свойствами. Расстояние микрофона от стен

должно быть не менее одного метра, расстояние от источника звука должно быть по крайней мере в два раза больше, чем теоретический предельный радиус, вычисленный

по формуле
$$r = 0,056 \sqrt{\frac{V}{T_p}} \text{ м,}$$

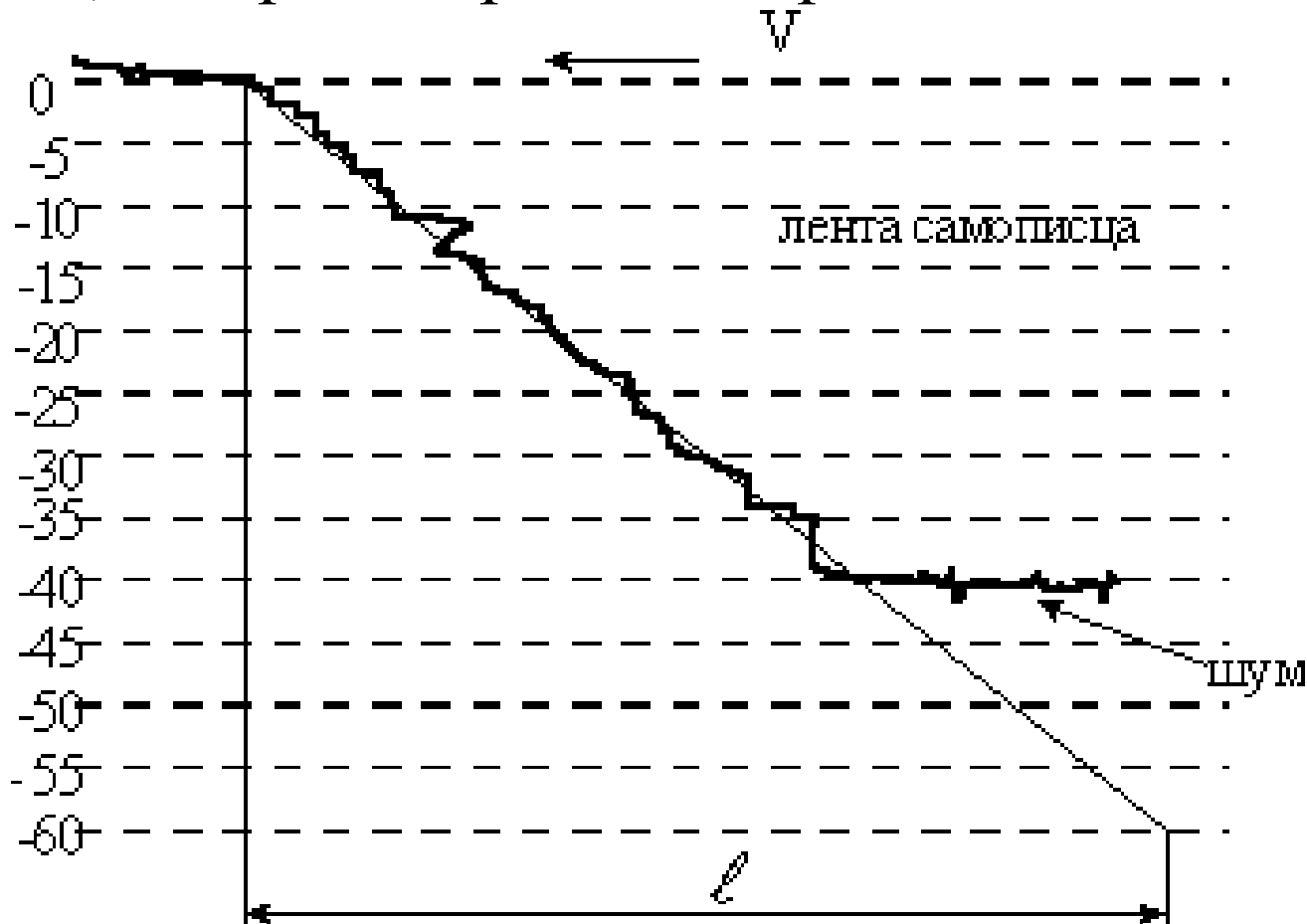
где V – объем помещения, м^3 ; T_p – предполагаемое время реверберации.

При измерении частотной характеристики времени реверберации в приемном тракте также должны использоваться полосовые (как правило, октавные) фильтры.

Запись процесса спада звуковой энергии в помещении после отключения источника звука осуществляется самописцем уровней с логарифмической шкалой оси ординат.

При измерении времени реверберации очень часто возникает проблема обеспечения требуемого превышения

(60 дБ) максимального сигнала над шумом. Особенно сложно сделать это в шумных производственных помещениях. В этих случаях приходится уровнеграмму, записанную самописцем, экстраполировать до размаха 60 дБ.



Определение времени реверберации по уровнеграмме

Кривая спада плотности звуковой энергии аппроксимируется прямой, наклон которой (скорость спада) определяется уровнеграммой. На рис. 1 - путь, который прошла бы лента самописца, если бы уровень плотности звуковой энергии спадал бы от 0 до -60 дБ. Так как скорость протяжки ленты известна, то $T_p = l/v$, где v – скорость протяжки ленты.

Лента самописца градуируется по вертикали, как правило, через 5 дБ. Скорость движения пера самописца уровней должна быть не менее 300 дБ/с. Скорость движения бумаги должна быть подобрана таким образом, чтобы наклон записи спада составлял около 45° . Число точек расположения измерительного микрофона (точек измерения) должно составлять не менее 6...8 для больших помещений и 2...3 для небольших, причем в каждой из этих точек должно быть произведено не менее трех измерений

в каждой полосе частот. Вначале определяется средне-арифметическое значение для каждой точки, а затем для всего помещения с усреднением по всем точкам измерения.

Практика измерений показывает, что зачастую наблюдается быстрое затухание звука в начале процесса, за которым следует затухание более медленное, особенно в больших залах. Иногда наблюдаются различные случайные колебания – внезапный подъем или последовательность всплесков. При измерении времени реверберации надо пренебречь флуктуациями записанной кривой и установить только средний ее наклон. В любом случае при наличии флуктуаций и выбросов для получения достоверных результатов необходимо увеличивать число точек измерения.

Некоторые авторы считают, что участок кривой спада

звукового давления в интервале $-5 \dots -35$ дБ наиболее точно характеризует реверберационную характеристику помещения. На этом принципе работают реверберометры, включающие в свой состав ключевые схемы и пороговые устройства, запускающие таймер при спаде звука на 5 дБ от максимума и останавливающие его при спаде на 35 дБ.

Звукомерные камеры

Условия проведения измерений. Акустические измерения параметров громкоговорителей и микрофонов имеют ряд специфических особенностей. Измерение некоторых характеристик такой электроакустической аппаратуры необходимо проводить в условиях свободного поля, т.е. когда отсутствуют отраженные волны. В обычных помещениях

это условие невыполнимо, а проводить измерения на открытом воздухе сложно и не всегда возможно. Во-первых, на открытом воздухе трудно избежать отражений от поверхностей, например, от земли. Во-вторых, проведение измерений в этом случае зависит от атмосферных условий и может приводить к большим погрешностям, не говоря уже о ряде других неудобств. В-третьих, на открытом воздухе трудно избежать влияния шумов. Поэтому для измерений в свободном поле пользуются специальными заглушенными камерами, в которых отраженные волны практически отсутствуют.

Для некоторых измерений (например, для измерения мощности громкоговорителя, коэффициентов звукопоглощения и т.д.) требуется диффузное поле. В обычных помещениях звуковое поле далеко от состояния диффузности. Поэтому строят специальные помещения, в кото-

рых можно создать диффузное поле. Такие помещения называют реверберационными (или гулкими) камерами. Заглушенную и реверберационную камеры называют звукомерными.

Звукомерные камеры являются дорогостоящими сооружениями. При строительстве **заклушенной камеры** необходимо в первую очередь обеспечить большое поглощение звука. Если, например, коэффициент поглощения материала, располагаемого на ограждающих поверхностях камеры, будет равен 0,99, то при этом интенсивность отраженной волны будет составлять 0,01 от интенсивности волны, падающей на эти поверхности:

$$I_{\text{отр}} = \alpha_{\text{отр}} I_{\text{пад}} = 0,01 I_{\text{пад}}.$$

По давлению это отношение будет составлять 0,1, так

как

$$\frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{пад}}} = \frac{p_{\text{зв.отр}}^2}{p_{\text{зв.пад}}^2} .$$

Давление в пучности будет равно $1,1p_{\text{зв.пад}}$, а в узле - $0,9p_{\text{зв.пад}}$. Неравномерность по давлению составит $1,1/0,9 = 1,2$. Следовательно, ошибка измерения может достигать 20%. Если же задаться ошибкой не более 5%, то коэффициент поглощения ограждающих поверхностей должен быть не менее 0,9994.

Такой коэффициент звукопоглощения удастся получить только на средних и высоких частотах. На низких частотах это практически невозможно. Даже в лучших камерах ошибка измерения получается больше 5% на частотах ниже 100 Гц. Но и для получения таких коэффициентов

толщина материалов доходит до 1,5...2 м и более. Для увеличения поглощающей способности материала его изготавливают в виде узких пирамид или клиньев.

Высокие требования предъявляются и к звукоизоляции заглушенной камеры. Дело в том, что в камерах иногда приходится измерять уровни собственных шумов микрофонов и пороги слышимости людей. Поэтому уровень шумов в камере должен быть ниже порога слышимости. Для этого камера должна иметь двойные стены, причем внутренние стены устанавливают на изолированном фундаменте с плавающим полом и подвесным потолком. Все это приводит к тому, что для получения полезного объема 4х4х4 внешние размеры камеры получаются не менее 10х10х17.

Реверберационная камера должна иметь очень хорошо отражающие поверхности. Удастся получить средний коэффициент звукопоглощения около 0,015, что обеспечивает время реверберации в камере объемом 90 м³ не менее 7...9 с. При таком поглощении диффузность поля получается достаточно высокой и обеспечивает точность измерений не ниже 2...3%. У реверберационной камеры требования к звукоизоляции несколько ниже (допускается уровень проникающих шумов порядка 25 дБ).

В звукомерных камерах размещают только измерительный микрофон и по мере надобности испытуемый микрофон и измерительный громкоговоритель или испытуемый громкоговоритель. Всю остальную измерительную аппаратуру располагают в аппаратной, изолированной от камеры.

Общие замечания по измерениям.

Все частотные характеристики снимают (или соответствующие параметры измеряют) при плавном изменении частоты или на дискретных частотах предпочтительного ряда. (текст с пояснением предпочтительного ряда частот и центральных частот полос шума)

Во всех случаях измерений на дискретных частотах необходимо отмечать также места максимумов и минимумов и на них измерять значения параметров. Все характеристики направленности измеряют или при плавном изменении углов расположения осей испытуемой аппаратуры, или для углов, кратных 15° на частотах до 5000 Гц и кратных 5° выше этой частоты.

Измерение характеристик микрофона в заглушенной камере.

Для измерения чувствительности микрофона в свободном поле следовало бы вначале измерить звуковое давление в точке, куда будет помещен испытуемый микрофон, а потом уже помещать его в эту точку. Но так как в заглушенной камере практически отсутствует интерференция звуковых волн и расстояние микрофона от громкоговорителя берут равным 1...1,5 м при диаметре излучателя не более 25 см, то измерительный микрофон 7 (рис.) можно располагать поблизости от испытуемого микрофона.

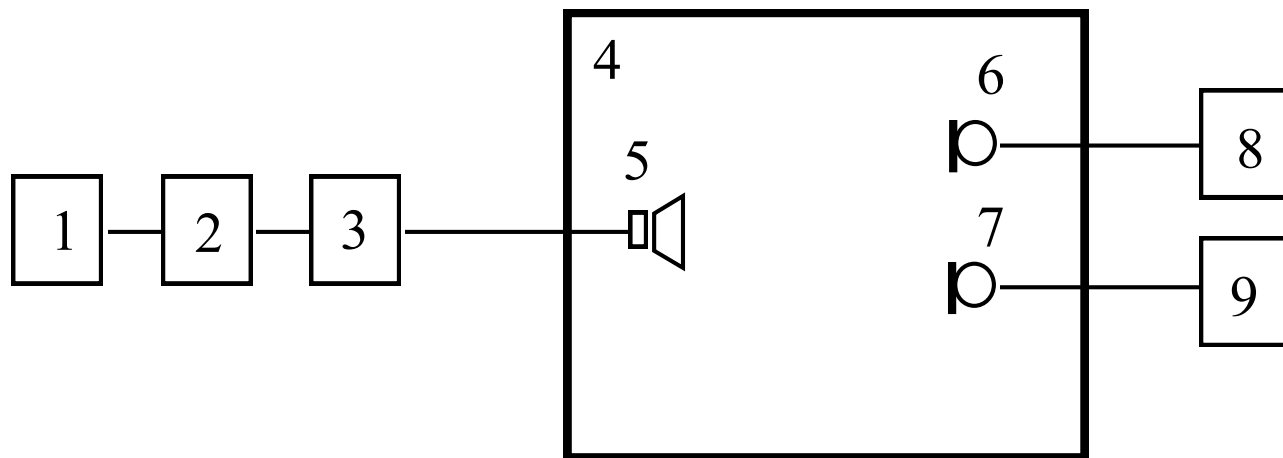


Схема измерения чувствительности микрофона

1 – генератор тональный или белого шума; 2 – фильтр третьоктавный; 3 – мощный усилитель; 4 – заглушенная камера; 5 – громкоговоритель; 6 – испытуемый микрофон; 7 – измерительный микрофон; 8 – милливольтметр; 9 – милливольтметр, градуированный в паскалях или децибелах.

Устанавливая по измерителю звукового давления 7 необходимое давление $P_{зв}$, измеряют напряжение U_M , развиваемое испытуемым микрофоном, и определяют его *осевую чувствительность*. Чувствительность определяют во всем номинальном диапазоне частот. По полученной частотной характеристике определяют ее неравномерность в номинальном и рабочем диапазонах частот.

Чувствительность микрофона вне акустической оси определяется его *характеристикой направленности*. Об измерении этого параметра будет сказано ниже.

Среднюю чувствительность определяют в мВ/Па по формуле

$$E_{cp} = \sqrt{\sum_{k=1}^n E_k^2 / n},$$

где E_k - чувствительность, определенная на фиксированных частотах, входящих в номинальный диапазон частот, или в третьоктавных полосах шума; n - число точек отсчета. При неравномерности менее 12 дБ допускается определять среднеарифметическое значение чувствительности.

Уровень чувствительности и средней чувствительности в децибелах вычисляют по формуле

$$N_M = 20 \lg \frac{E_M 10^{-3}}{E_0},$$

где E_M - чувствительность, мВ/Па; E_0 - чувствительность равная 1 мВ/Па.

Стандартный уровень чувствительности (в децибелах) определяют по формуле

$$N_0 = 20 \lg \frac{U_0 (p_{зв} = 1 \text{ Па})}{\sqrt{R_{ном} 10^{-3}}} = 20 \lg \frac{E_{ос}}{\sqrt{R_{ном} 10^{-3}}},$$

где U_0 - напряжение (В), развиваемое микрофоном на номинальном сопротивлении нагрузки $R_{ном}$ (Ом) при звуковом давлении 1 Па.

Чувствительность микрофона вне акустической оси определяется его *характеристикой направленности*.

Характеристику направленности микрофона снимают по схеме, представленной на предыдущем рис., при-

чем в зависимости от задания или на нескольких частотах, используя тональный генератор, или для шумового сигнала в третьоктавных полосах, или для заданной полосы частот, используя вместо третьоктавных фильтров соответствующий полосовой фильтр.

Для снятия характеристик направленности испытуемый микрофон укрепляют на поворотном диске с лимбом. Диск вращают вручную или автоматически, синхронно с регистрирующим столиком. Характеристику снимают в одной плоскости, проходящей через рабочую ось микрофона, если он представляет собой тело вращения вокруг своей оси. Для других форм микрофона характеристику снимают для заданных плоскостей, проходящих через рабочую ось. Угол поворота отсчитывают между рабочей осью и направлением на источник звука. Нормируют характеристику направленности относительно осевой чув-

ствительности.

Перепад чувствительности фронт - тыл определяют как разность уровней чувствительности под углами 0 и 180° между рабочей осью микрофона и направлением на источник звука. Этот перепад определяют для ряда частот номинального диапазона или для заданной полосы частот. По измеренным данным находят средний перепад чувствительности как отношение средних чувствительностей, измеренных для углов 0 и 180°.

Измерение характеристик микрофона в реверберационной камере.

В этой камере измеряют *диффузную чувствительность* микрофона. Размещая измерительный микрофон в зоне диффузного поля (рис.) поблизости от испытуемого

микрофона, измеряют развиваемые ими выходные напряжения $U_{\text{диф}}^*$ и $U_{\text{диф}}$.

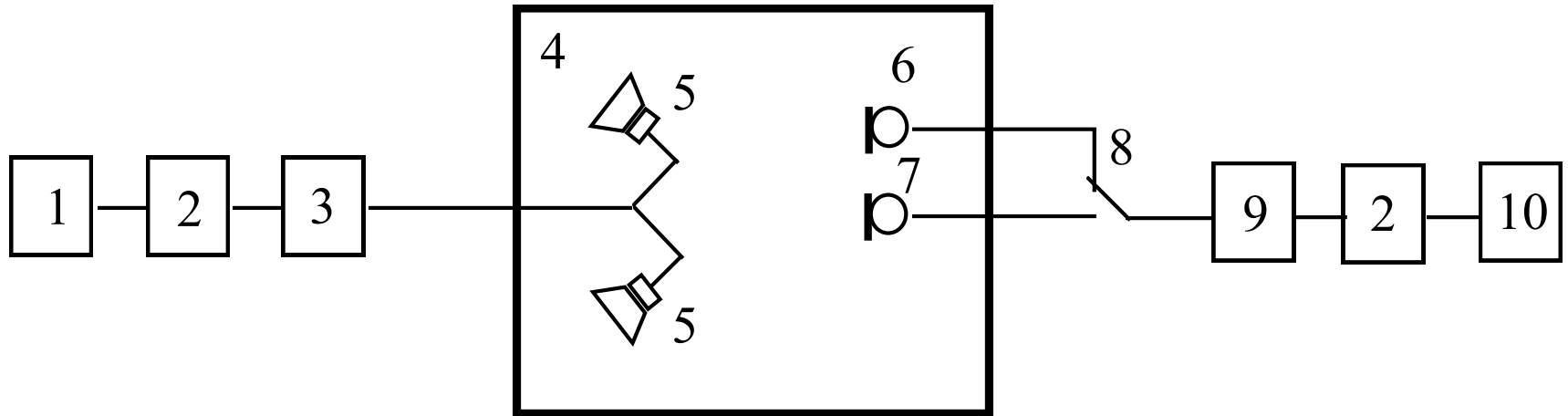


Схема измерений диффузной чувствительности микрофона:

1 – генератор белого шума; 2 – третьоктавный фильтр; 3 – мощный усилитель; 4 – реверберационная камера; 5 – громкоговорители; 6 – испытуемый микрофон; 7 – измерительный микрофон; 8 – переключатель; 9 – микрофонный усилитель; 10 – милливольтметр.

Устанавливая по измерителю звукового давления 7 необходимое давление $p_{зв}$, измеряют напряжение U_M , развиваемое испытуемым микрофоном, и определяют его *осевую чувствительность*

$$E_{ос} = U_M / p_{зв}.$$

Чувствительность определяют во всем номинальном диапазоне частот. По полученной частотной характеристике определяют ее неравномерность в номинальном и рабочем диапазонах частот.

Чувствительность микрофона вне акустической оси определяется его *характеристикой направленности*.

Среднюю чувствительность определяют в мВ/Па по формуле

$$E_{ср} = \sqrt{\sum_{k=1}^n E_k^2 / n},$$

где E_k - чувствительность, определенная на фиксированных частотах, входящих в номинальный диапазон частот, или в третьоктавных полосах шума; n - число точек отсчета. При неравномерности менее 12 дБ допускается определять среднеарифметическое значение чувствительности.

Уровень чувствительности и средней чувствительности в децибелах вычисляют по формуле

$$N_M = 20 \lg \frac{E_M 10^{-3}}{E_0} ,$$

где E_M - чувствительность, мВ/Па; E_0 – чувствительность равная 1 мВ/Па.

Стандартный уровень чувствительности (в децибелах) определяют по формуле

$$N_0 = 20 \lg \frac{U_0 (p_{зв} = 1 \text{ Па})}{\sqrt{R_{ном} 10^{-3}}} = 20 \lg \frac{E_{ос}}{\sqrt{R_{ном} 10^{-3}}},$$

где U_0 - напряжение (В), развиваемое микрофоном на номинальном сопротивлении нагрузки $R_{ном}$ (Ом) при звуковом давлении 1 Па.

Чувствительность микрофона вне акустической оси определяется его *характеристикой направленности*.

Характеристику направленности микрофона снимают по схеме, представленной на предыдущем рис., причем в зависимости от задания или на нескольких частотах, используя тональный генератор, или для шумового сигнала в третьоктавных полосах, или для заданной полосы частот, используя вместо третьоктавных фильтров соответствующий полосовой фильтр. Для снятия характеристик направленности испытуемый микрофон укрепляют на по-

воротном диске с лимбом. Диск вращают вручную или автоматически, синхронно с регистрирующим столиком. Характеристику снимают в одной плоскости, проходящей через рабочую ось микрофона, если он представляет собой тело вращения вокруг своей оси. Для других форм микрофона характеристику снимают для заданных плоскостей, проходящих через рабочую ось. Угол поворота отсчитывают между рабочей осью и направлением на источник звука. Нормируют характеристику направленности относительно осевой чувствительности.

Перепад чувствительности фронт - тыл определяют как разность уровней чувствительности под углами 0 и 180° между рабочей осью микрофона и направлением на источник звука. Этот перепад определяют для ряда частот номинального диапазона или для заданной полосы частот. По измеренным данным находят средний перепад чув-

ствительности как отношение средних чувствительностей, измеренных для углов 0 и 180°.

Измерение характеристик микрофона в реверберационной камере. В этой камере измеряют диффузную чувствительность микрофона. Размещая измерительный микрофон в зоне диффузного поля (рис.) поблизости от испытуемого микрофона, измеряют развиваемые ими выходные напряжения $U_{\text{диф}}^*$ и $U_{\text{диф}}$.

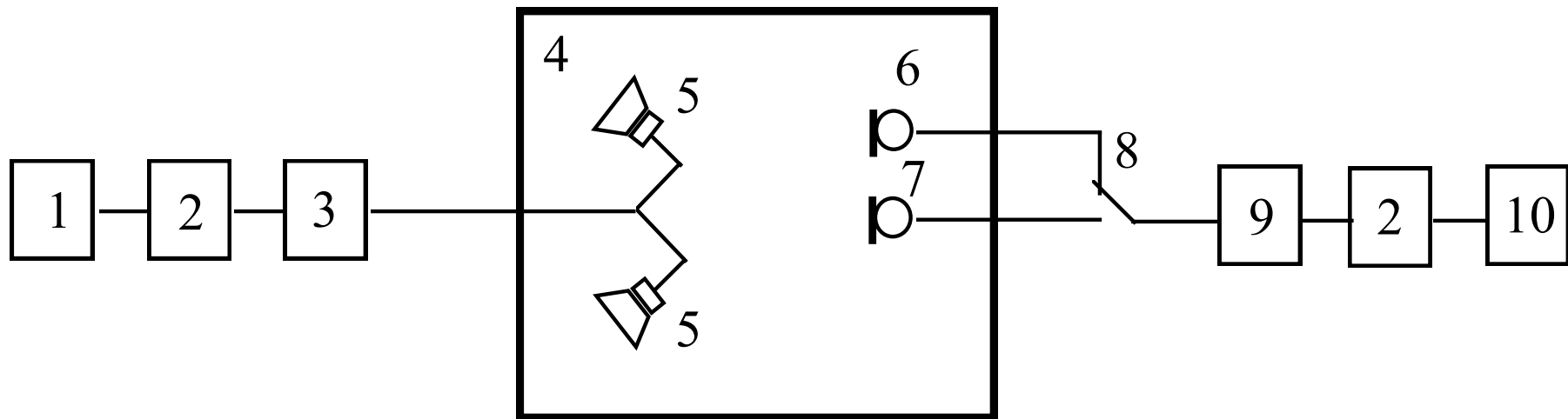


Схема измерений диффузной чувствительности микрофона:

1 – генератор белого шума; 2 – третьоктавный фильтр; 3 – мощный усилитель; 4 – реверберационная камера; 5 – громкоговорители; 6 – испытуемый микрофон; 7 – измерительный микрофон; 8 – переключатель; 9 – микрофонный усилитель; 10 – милливольтметр.

Чувствительность по диффузному полю вычисляют по формуле ,

$$E_{\text{диф}} = E_{\text{диф}}^* U_{\text{диф}} / U_{\text{диф}}^* ,$$

где $E_{\text{диф}}^*$ — чувствительность измерительного микрофона по диффузному полю, мВ/Па.

Аналогично измерениям в заглушенной камере снимают частотную характеристику чувствительности микрофона в диффузном поле и определяют среднюю чувствительность и уровень чувствительности.

Коэффициент направленности вычисляют по формуле

$$\Omega_{\text{м}} = E_{\text{ос}}^2 / E_{\text{диф}}^2 ,$$

где $E_{\text{ос}}$ и $E_{\text{диф}}$ — чувствительности по свободному и диффузному полю, мВ/Па.