ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ ОТ УТЕЧКИ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ ПО АКУСТИЧЕСКОМУ КАНАЛУ

Циркуляция в помещении акустических колебаний, вызванных как значимыми для информационного обмена потоками речевых сообщений между их прямыми носителями (людьми), так и незначительными, но информативными потоками акустических колебаний (клавиатура ПЭВМ, пишущая машинка или телетайп, принтер и т.п.), при недостаточной звукоизоляции ограждающих конструкций, а также при наличии косвенных носителей информации (акустоэлектрических, акустовибрационных и акустооптических преобразователей) в этом помещении может привести к распространению сообщений по **обобщенному** акустическому каналу, средой передачи в котором могут являться:

в акустическом канале - окружающее воздушное пространство;

в акустоэлектрическом канале - провода, отходящие от различных электромеханических преобразователей, находящихся в помещении, за пределы этого помещения;

в акустовибрационном канале - стены и перегородки, перекрытия, оконные рамы, дверные коробки, трубопроводы, короба вентиляции;

- в акустооптическом канале - оптоволоконный кабель.

Акустический канал возникает из-за образования звуковых волн сжатия, создаваемых голосовым аппаратом человека, и распространения их в воздушной среде, а также проникновения через несущие стены зданий, окна, двери, вентиляционные воздуховоды сквозь поры, щели и т.п.

При произнесении звуков речи через речевой тракт, представляющий собой сложный акустический фильтр с рядом резонаторов, создаваемых полостями рта, носа и носоглотки, проходит либо тональный импульсный сигнал (звонкие звуки), либо шумовой (глухие звуки), либо тот и другой вместе. Вследствие этого равномерный тональный или шумовой спектр превращается в спектр с рядом максимумов, называемых формантами, и минимумов, называемых антиформантами. Так как наиболее информативными являются глухие согласные, то при действии шумов разборчивость речи снижается, в первую очередь из-за маскировки глухих звуков. Ухо человека обладает свойствами дискретного восприятия по частотному и динамическому диапазонам.

Слуховое ощущение пропорционально логарифму раздражающей силы:

$$\mathbf{E}_{дБ}=10\boldsymbol{lg}(\mathbf{I}/\mathbf{I}_{п.с}), \qquad (1)$$

где $\mathbf{I}_{п.с}$ - раздражающая сила на пороге слышимости.

Величину **E** называют уровнем ощущения, причем $\mathbf{E} = \mathbf{L}_1 - \mathbf{L}_{п.с}$, где $\mathbf{L}_1 = 10\boldsymbol{lg}\mathbf{I} + 120$ - уровень интенсивности звука **I**, Вт/м^2. Уровень ощущения, представляет собой уровень над порогом слышимости, т.е. относительный уровень.

Так как уровень ощущения неточно характеризует субъективное ощущение, в акустике применяется понятие "уровень громкости" звука (или шума), под которым понимается уровень в децибелах равногромкого с ним чистого тона 1000 Гц.

В соответствии с кривыми равной громкости, при уровне 30-40 фон (уровень громкости в дБ на частоте 1000 Гц) в диапазоне частот 250...500 Гц происходит уменьшение громкости примерно на 6 дБ, поэтому при приеме элементов речи техническими средствами, это снижение можно компенсировать частотной коррекцией, что невозможно осуществить при приеме речи специально подготовленными людьми - артикулянтами.

Восприятие речи в значительной степени зависит от уровня акустических шумов, которые могут распространяться и как акустические сигналы и как помехи. Последние подразделяются на три вида: белый шум (имеет одинаковую спектральную плотность во всем частотном диапазоне), розовый (имеет тенденцию спада на 3 дБ/окт в сторону высоких частот) и речевой шум - шум, создаваемый одновременным разговором нескольких человек.

Обычно при расчетах рассматриваются стационарные шумы, однако в течение длительного периода времени (день - ночь, рабочие дни - выходные) шумы могут носить нестационарный характер, т.е. изменяться во времени. Маскирующие свойства шумов проявляются тем сильнее, чем больше их превышение над полезным сигналом во всей полосе частот речевого диапазона. Наибольший маскирующий эффект имеют широкополосные помехи с "гладким" спектром, но удовлетворительная разборчивость речи может быть достигнута даже в том случае, если уровень речи будет на несколько децибел ниже уровня шума.

Узкополосные помехи даже высокого уровня не могут обеспечить требуемой степени зашумления речи, так как они, как правило, имеют периодический характер, что позволяет частично их компенсировать с помощью различных фильтров.

Для определения максимально допустимого уровня шума в помещениях, в соответствии с санитарными нормами, применяются предельные спектры (ПС). Число при ПС означает уровень шума в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц. Так как санитарные нормы ограничивают максимальное значение уровня шума для различных типов помещений, то предельные спектры можно использовать для расчета разборчивости речи в конкретных условиях.

Уровни интенсивности речи в октавных полосах и некоторые значения предельных спектров шумов приводятся в табл. 1. Значения уровней шумов, измеренные на частоте 1000 Гц в различных местах, приводятся в табл. 2.

Разборчивостью называют относительное или процентное количество принятых специально тренированными слушателями (артикулянтами) элементов речи из общего количества, переданных по тракту. Так как в качестве элементов речи применяют звуки, слоги, слова и фразы, то имеет место **звуковая, слоговая, словесная и фразовая** разборчивость. Все они при испытании одной и той же системы будут выражаться разными численными величинами, так как процент правильных оценок для предвиденного сообщения всегда выше, чем для непредвиденного, степень же предвидения при прослушивании фразы выше, чем при прослушивании отдельных слов или слогов.

Однако все виды разборчивости связаны друг с другом однозначными функциональными зависимостями, представляемыми обычно в виде кривых или таблиц.

Разборчивость представляет собой статистическую характеристику речи, принимаемой на фоне шумов, и описывается вероятностными характеристиками. Она может характеризовать качество канала только в среднем значении, допуская флуктуации в ту или иную сторону.

Объективные измерительные оценки разборчивости речи могут производиться с помощью вычисления разборчивости формант. По формантной разборчивости **А**ф определяют слоговую **S**, словесную **W**, фразовую разборчивость и понятность речи. Зависимость между формантной **А**ф (суммарной вероятностью приема формант), слоговой S и словесной **W** разборчивостью речи приведена в табл.3.

Форманты звуков речи заполняют весь частотный диапазон 150...7000 Гц. Этот частотный диапазон делят на 20 полос равной разборчивости. Вероятность появления формант в каждой полосе равной разборчивости равна 0,05. При прослушивании речи в условиях шумов разборчивость получается меньшей, чем в их отсутствие. Коэффициент ***w***, определяющий это уменьшение, называют ***коэффициентом восприятия, или коэффициентом разборчивости***, т.е. в каждой полосе равной разборчивости вероятность приема формант Δ**А** = 0,05 ***w***. Коэффициент разборчивости ***w*** определяется уровнем ощущения формант $\mathbf{E}_ф = \mathbf{B}_р. - \mathbf{B}_ш.$, где $\mathbf{B}_р.$ - средний спектральный уровень речи; $\mathbf{B}_ш.$ - спектральный уровень шумов.

Для практики применение полос равной разборчивости неудобно, так как получающиеся частотные полосы нестандартны. Для каждой полосы равной разборчивости коэффициент разборчивости ***w*** в общем случае будет разный, поэтому в акустических измерениях используются октавные или третьоктавные частотные полосы. Значения коэффициентов разборчивости речи ***w***, соответствующие определенным уровням ощущения формант **Е**ф, приведены в табл. 4.

Градации понятности речи и соответствующие им значения слоговой (**S**) и словесной (**W**) разборчивости, измеренные артикулянтами и дополненные значениями формантной **А**ф разборчивости (суммарной вероятностью приема формант), взятой из табл. 3, приведены в табл. 5. Учитывая, что восприятие человеком формант обладает свойством аддитивности, т.е. каждый участок речевого диапазона вносит свой вклад в общую разборчивость речи, можно рассчитать вклады октавных полос для формантной разборчивости. На основании данных о вкладах октавного анализа для русской речи можно определить выражение для формантной разборчивости **А**ф.русск. для русской речи:

$$\mathbf{A}\ ф.русск. = 0{,}05*(1{,}34\boldsymbol{w}\mathbf{1} + 2{,}5\ \boldsymbol{w}\mathbf{2} + 4{,}24\boldsymbol{w}\mathbf{3} + 5{,}88\ \boldsymbol{w}\mathbf{4} + 5\boldsymbol{w}\mathbf{5} + 1{,}04\boldsymbol{w}\mathbf{6}), \qquad (2)$$

где ***w***i - коэффициенты разборчивости речи на средних октавных частотах (250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000).

От качественного приема каждой частотной полосы зависит суммарная разборчивость. Минимальная формантная разборчивость Аф, при которой еще возможно понимание смысла речевого сообщения (суммарная вероятность приема формант), равна 15%, что соответствует 25% слоговой и 75% словесной разборчивости (см. табл. 5).

Учитывая сказанное, для минимальной формантной разборчивости можно записать: **А**ф.русск.мин = 0,05 (1,34***w***1 + 2,5***w***2 + 4,24***w***3 + 5,88***w***4 + 5w5 + 1,04***w***6) = 0,15.

Рассчитаем ***w***i на частоте 1000 Гц, так как на этой частоте обычно приводятся значения коэффициента звукоизоляции ограждающих конструкций.

Суммарной вероятности приема формант **А**ф.русск.мин = 0,15 соответствует 100% всего частотного диапазона, а участку, который вносит свой вклад в разборчивость в размере 21,2% (на частоте 1000 Гц), соответствует W_{1000} = W3 = 0,05x4,24x0,15 /100 = 3,15/100 = 0,0315. Согласно табл. 4 для W = 0,03 находим Еф = Вр. – Вш. = - 9 дБ. Так как ухо человека обладает свойствами дискретного восприятия по частотному и динамическому диапазонам, то для того, чтобы речь была вообще неразборчива, возьмем предыдущее значение W = 0,02, для которого Еф. = Вр. – Вш. = -10 дБ на частоте 1000 Гц.

Проведя аналогичные действия для остальных пяти октавных полос, а также повторив их для удовлетворительной, хорошей и отличной суммарных вероятностей приема формант для всех шести октавных полос, сведем полученные результаты в табл. 6.

На разборчивость речевых сообщений оказывает влияние эффект реверберации, характеризуемый временем уменьшения уровня звукового давления в помещении на 60 дБ после выключения источника. Этот эффект проявляется в наложении речевых отрезков друг на друга за счет переотражения сигнала от поверхностей конструкций, поэтому если помещение имеет звукопоглощающие поверхности, то время реверберации незначительно, однако в больших гулких помещениях реверберация может существенно исказить речь. Время реверберации менее 0,85 сек. незаметно для слуха. Для большинства кабинетов и помещений с мебелью их объемы и акустическая отделка позволяют не учитывать временные искажения, так как время реверберации в них не превышает 0,6 сек.

При падении звуковых волн с интенсивностью $\mathbf{I}_{пад}$. на какую-либо перегородку больших размеров в сравнении с длиной волны интенсивность звука с другой стороны перегородки $\mathbf{I}_{пр}$ в условиях отсутствия отражения звука в пространстве за перегородкой будет определяться только звукопроводностью перегородки. Коэффициент звукопроводности $\alpha_{пр} = \mathbf{I}_{пр} / \mathbf{I}_{пад} = \rho^2_{пр} / \rho^2_{пад}$ или в логарифмических единицах (звукоизоляция перегородки) $\mathbf{Q}_{пер} = \mathbf{L}_{пад} - \mathbf{L}_{пр} = 20\boldsymbol{lg}(\rho_{пад}/\rho_{пр})$, где $\mathbf{L}_{пад}$ и $\mathbf{L}_{пр}$ - уровни звукового давления с внутренней и внешней сторон перегородки, $\rho_{пад}$ и $\rho_{пр}$ – поверхностная плотность материала перегородки с внутренней и внешней сторон. Коэффициент звукоизоляции стен $\mathbf{Q}_{пер}$ с различной поверхностной плотностью ρ в децибелах (с учетом только мембранного переноса) для частот 500...1000 Гц может быть определен по формулам:

$$\mathbf{Q}_{пер}, дБ = 12{,}5\boldsymbol{lg}\rho + 14 \quad (3)$$

для стен с $\rho < 200$ кг/м^2;

$$\mathbf{Q}_{пер}, дБ = 14{,}5\boldsymbol{lg}\rho + 15 \quad (4)$$

для стен с $\rho > 200$ кг/м^2;

$$\mathbf{Q}_{пер}, дБ = 14\boldsymbol{lg}\,(\rho_1\rho_1) + 20\,\boldsymbol{lg}\delta - 13 \quad (5)$$

для двойных жестких перегородок с воздушной прослойкой между ними с поверхностной плотностью ρ = 30...100 кг/м^2; где $\rho 1$ и $\rho 1$ - поверхностная плотность первой и второй перегородки, δ - толщина воздушного слоя между ними.

Значения $\mathbf{Q}_{пер}$ в формулах 3 - 5 приводятся для частот 500...1000 Гц; для частот 50...250 Гц звукоизоляция будет на 6 дБ меньше, а для частот, равных 4000 Гц и более на 6 дБ больше. Некоторые значения $\mathbf{Q}_{пер}$ приводятся в табл. 7.

Изолирующие свойства перегородки с дверью или окном можно рассчитать по следующей формуле:

$$\mathbf{Q}_{пер} = \mathbf{Q}1 - 10\boldsymbol{lg}[1 + (\mathbf{S}_o/(\mathbf{S}_1 + \mathbf{S}_o))*(10^{0,1(\mathbf{Q}1-\mathbf{Q}o)} - 1)], \quad (6)$$

где $\mathbf{Q}_{пер}$ - величина звукоизоляции неоднородной перегородки;

$\mathbf{Q}_1$ - величина звукоизоляции глухой части перегородки (без учета окна или двери);

$\mathbf{Q}_o$ - величина звукоизоляции двери или окна;

$\mathbf{S}_1$ - площадь глухой части стены;

$\mathbf{S}_o$ - площадь двери или окна.

При прохождении через различные строительные конструкции и материалы сигналы ослабевают в зависимости от толщины и поверхностной плотности материала. Уровень акустического сигнала за ограждающей конструкцией (звукоизолирующей перегородкой) $\mathbf{L}_2$ можно определить из следующего выражения:

$$\mathbf{L}_2 = \mathbf{L}_1 + 10\boldsymbol{lg}(\mathbf{S}/\mathbf{A}) - \mathbf{Q}_{пер}, \quad (7)$$

где $\mathbf{L}_2$ - уровень речевого сигнала за звукоизолирующей перегородкой;

$\mathbf{L}_1$- уровень речевого сигнала в контролируемом помещении;

S - площадь звукоизолирующей перегородки, разделяющей помещения;

A - эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2;

$\mathbf{Q}_{пер}$ - коэффициент звукоизоляции различных конструкций для частот 500...1000 Гц.

Для ориентировочной оценки звукоизоляции меблированных помещений величина $10\boldsymbol{lg}(\mathbf{S}/\mathbf{A})$, характеризующая реверберационные свойства помещения,

может быть принята равной нулю. С учетом этого, а также предполагая, что в качестве приемника речевых сообщений используется техническое средство, которое может иметь на низких частотах подъем усиления на 6 дБ, выражение для определения $\mathbf{L}_2$ примет вид:

$$\mathbf{L}_2 = \mathbf{L}_1 + 6 - \mathbf{Q}_{\text{пер}}. \qquad (8)$$

Это выражение в дальнейшем будем применять для расчетов уровня речевого сигнала за звукоизолирующей перегородкой.