

# ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА (ЧАСТЬ I)

**В первой части предлагаемой вашему вниманию статьи мы обратимся к основам электроакустического расчета, выполняемого при проектировании систем оповещения различного назначения. Основы акустических знаний необходимы инженеру-проектировщику систем пожарной автоматики, частью которых являются речевые системы СОУЭ людей при пожаре, системы объектового и локального оповещения, системы оповещения при угрозе совершения теракта, применяемые как внутри зданий, так и на открытых территориях. Знание основ акустики поможет не допустить грубых ошибок при расчетах.**

О. В. КОЧНОВ

## Специфика электроакустического расчета, выполняемого при проектировании СОУЭ

Широкое и повсеместное использование систем оповещения (СО) различного назначения включает стадию проектирования, на которой определяются конфигурация и параметры системы [1]. Основная задача электроакустического расчета (ЭАР), выполняемого на начальном этапе проектирования, сводится к расстановке громкоговорителей (звуковых или речевых оповещателей, оконечных технических средств) таким образом, чтобы в каждой точке потенциально-возможного присутствия людей была обеспечена необходимая слышимость экстренной информации – звуковых сигналов или речевых объявлений. Существует два основных подхода к расчету. Первый, согласно которому параметры громкоговорителей и озвучиваемого пространства (геометрические размеры и уровни шума) являются входными для выполнения расчета, при этом критерием правильности расчета являются нормативные требования. Второй, согласно которому параметры и расстановку громкоговорителей как раз и необходимо определить.

Термин «электроакустический», в отличие от «акустический», согласуется с определением громкоговорителя, как преобразователя электрического сигнала на входе в акустический сигнал на выходе. При неграмотном ЭАР экстренное сообщение

(речевая информация) не будет адекватно воспринято (будет или не слышна, или не разборчива). При этом система оповещения, хотя и нормально функционирующая, свою задачу не выполнит. Неграмотный ЭАР может привести к потере информации: при недостаточной громкости; при возникновении эха; при неправильной локализации источников звука; при повышенном шуме или избыточной реверберации. Недостатки расчета отразятся, прежде всего, на слабо защищенном контингенте – людях с пониженным слухом, инвалидах, а при завышенной громкости, наоборот, может и спровоцировать панику. На пути реализации грамотного расчета стоят две проблемы: недостаточно четко или не полностью сформулированные требования нормативной документации (НД) и отсутствие методик расчетов.

Основные требования НД сводятся к способам обеспечения необходимого

уровня звукового давления в различных местах, что предполагает множество вводных, например, понятие – расчетная точка (РТ) [2]. Грамотный расчет возможен только при комплексном подходе, учитывающем все этапы прохождения звуковой энергии от создания до восприятия: на этапе создания учитываются характеристики всего звукового тракта (микрофонов и усилителей); на этапе преобразования оценивается актуальность параметров преобразователей и их применимость к расчету; на этапе распространения – параметры окружающей среды и условия распространения звука; на этапе восприятия оцениваются условия восприятия и физиологические особенности человека. На пути расчета стоят и другие сложности. Требование к расчету, в виде обеспечения необходимого звукового давления, задается не в виде конкретной – фиксированной величины, а в виде условия – соотношение сигнал / шум, что приводит к необходимости определения точного значения уровней шумов.

Одной из непростых оказывается задача согласования ограниченного набора входных данных с нормативными требованиями к расчету. Основные нормативные требования к параметрам речевых оповещателей приведены в [3], которые отличаются от требований свода правил СП 3.13130 [4]. Прежде всего, в них не согласованы требования и к частотному диапазону. Более адекватными следует считать требования к частотному диапа-



**О. В. Кочнов,**  
начальник отдела  
научно-технического развития  
компании ESCORT GROUP, к.т.н.

зону (0,2-5кГц) свода правил, так как они хорошо согласуются с частотой человеческого восприятия. Нормативные требования являются необходимыми, но не достаточными условиями выполнения ЭАР. В существующей НД по пожарной безопасности нечетко определены требования: к качеству громкоговорителей; к выбору РТ; к неравномерности звукового поля в озвучиваемом пространстве; к выявлению дополнительных источников шума, например, при открытых окнах; к выполнению акустического расчета на открытой территории; к разборчивости в виде точных значений, как это сделано в области оповещения о ЧС[5].

Для устранения большинства трудностей, стоящих на пути выполнения расчета, можно обратиться к документу СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [6]. Данный документ стал основой действующего свода правил СП 51.13330.2011 [7], в котором приведены шум таблицы, а также некоторые методы, которыми можно и нужно пользоваться при выполнении ЭАР. Однако использование данных документов, в частности СНиП 23-03-2003, в качестве методики может оказаться затруднительным по следующим причинам. Основная задача, решаемая СНиП 23-03-2003 – исследование параметров акустической среды, выявление шумовых источников, исследование их характеристик, выработка мероприятий по снижению воздействия шума и т.д. В данном стандарте сформулированы основные понятия, определения и задачи, опирающиеся на статистическую теорию акустического расчета. Расчет выполняется для двух РТ: в точке свободного поля и в точке, выбранной вблизи стены. Уровень прямой звуковой энергии в свободном поле вычисляется для 8-ми октавных уровней. В РТ, выбранной вблизи стены, определяется уровень диффузной энергии отраженного поля, что не соответствует требованиям стандарта [2].

В сложившейся практике, регулируемой надзорными органами и экспертизой, большинство инженеров-проектировщиков предпочитают упрощенные методики расчетов (от производителей), поэтому одной из преследуемых (нами) целей является создание такой (упрощенной) методики, которая, обеспечивая хорошую точность (приближение) расчетов, удовлетворяла бы критерию простоты и наглядности, а также полному соответствию требованиям НД. Отметим основные допущения принятые при расчете:

- Расчет выполняется с учетом акустической геометрическо-лучевой теории, как наиболее удобной и эффективной.

- При расчете учитываются параметры всего звукового тракта, оказывающие влияние на параметры громкоговорителей, являющихся входными для выполнения ЭАР.

- Расчет выполняется для одной среднегеометрической частоты – 1 кГц.

- При расчете мы ограничимся учетом одного отражения звукового сигнала от пола или от стены, что, с одной стороны, дает возможность существенно упростить расчетную часть, а с другой – получить вполне удовлетворительные результаты для основных типов помещений (коридоры, фойе, офисы).

В основе предлагаемой – геометрической лучевой теории заложены физические принципы геометрической оптики, характеризующиеся простотой, наглядностью, и базирующиеся на следующих постулатах: звуковую волну сравнивают (отождествляют) со световым лучом; угол отражения звуковой волны равен углу ее падения; падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости. В элементарной методике мы учтем и реверберационные процессы, присутствующие в закрытых помещениях. Напомним, что реверберация – это процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях, время, в течение которого звук уменьшится на 60 дБ. Считается, что наиболее комфортное звучание присутствует в помещениях с временем реверберации ~50–80мс. Время реверберации >50 мс становится причиной такого паразитного явления, как эхо, которое становится возможным при разности (длины, хода) между прямой и отраженной волной, превышающей  $340 \cdot 0,05 = 17\text{ м}$ .

И еще один момент, который хотелось бы подчеркнуть. Многие инженеры-проектировщики для расчета пользуются различными калькуляторами. Правильным калькулятором следует считать только тот, который опирается на конкретную, адаптированную и проверенную (на практике) методику. Без указания метода полученный результат сомнителен и не может служить основанием для принятия решения и тем более для защиты проекта.

Предлагаемая вашему вниманию методика, использующая минимум входных данных, позволяет решать широкий круг задач при проектировании не только систем оповещения о пожаре (СОУЭ), но и объектов (ОСО) и локальных систем оповещения (ЛСО), а также систем громкоговорящей связи.

*Примечание. Для объектов (помещений) сложной архитектуры (формы): театров, концертных залов и т.п., следует использовать альтернативные методы расчета, программные средства и измерительные приборы.*

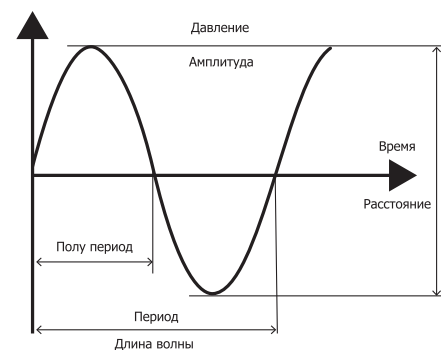
## Краткие теоретические сведения из акустики, необходимые для расчета

### Основные сведения о звуке

Звук можно описать разными способами. С энергетической точки зрения: звук – это разновидность кинетической энергии, называемой «акустической» и представляющей собой пульсацию давления, возникающую в физической среде при прохождении звуковой волны. С волновой точки зрения: звук – процесс последовательной передачи колебательного состояния упругой среды – упругие волны, продольно или сферически распространяющиеся в (воздушной) среде и создающие в ней механические колебания.

### Громкость

Звук воспринимается человеком только в том случае, если его частота и громкость находятся в определенных пределах: от 20 Гц до 20 кГц – для частоты, и от 20 мкПа до 20 Па, или 0 дБ до 120 дБ – для громкости. Звук, как волновой процесс, имеет колебательный характер. Для одной (монохромной) частоты данный процесс можно представить графически (рис. 1).



**Рис.1.** Графическое представление волнового процесса

Полный период колебания волны состоит из полупериода сжатия (повышения давления) и последующего полупериода разрежения молекул воздуха (понижения давления). Звуки с большей амплитудой (громкие звуки) соответствуют более сильному сжатию молекул воздуха, звуки с меньшей амплитудой (тихие звуки) соответствуют менее сжатому – разреженному состоянию.

### Длина волны

Волновой процесс характеризуется такими параметрами, как частота и длина звуковой волны. Длина звуковой волны  $\lambda$ , м определяет расстояние, пройденное звуковой волной за один период колеба-

ния и является отношением скорости звука к его частоте:

$$\lambda = v/f, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость звука, м/с;  $f$  – частота (количество колебаний в секунду) звука, с.

Считается, что человек слышит звуки в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц, но практически слышимый диапазон находится в пределах примерно от 80 Гц до 10 кГц (от 200 Гц – низкого мужского голоса, до 8 кГц – высокого женского сопрано).

**Скорость звука в воздухе**

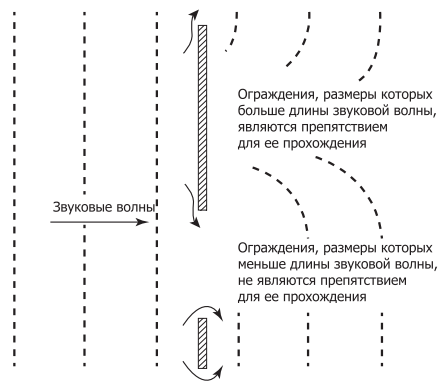
Скорость звука в воздухе составляет примерно 340 м/с и меняется с изменением температуры и влажности. Зависимость скорости звука в воздухе от температуры можно выразить:

$$v = 20,06 \sqrt{273 + t}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость звука в воздухе в м/с;  $t$  – температура воздуха в градусах Цельсия.

**Дифракция звука**

К звуку, как к колебательному процессу, применимы такие общефизические понятия, как интерференция и дифракция, обязательно учитываемые на практике. К понятию интерференции мы обратимся несколько позже. Эффект же дифракции связан со способностью звуковых колебаний огибать препятствия, размеры которых сопоставимы с длиной волны  $\lambda$  (рис. 2).

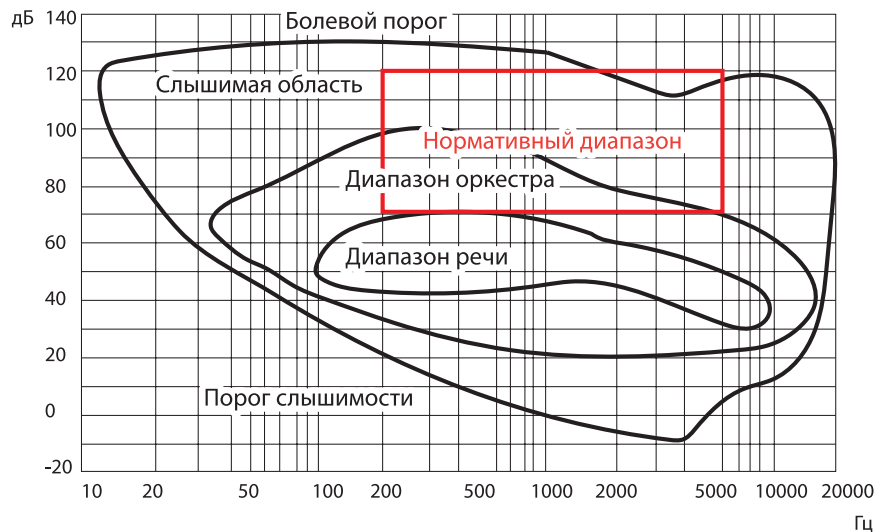


**Рис. 2.** Учет эффекта дифракции

Так, например, частоте  $f = 200$  Гц соответствует длина волны:  $\lambda = v/f = 340/200 = 1,7$  м. Это означает, что предметы размером более 170 мм будут являться препятствием для данной частоты, а размеры неровностей отражающих поверхностей меньше длины волны верхней границы частотного диапазона для 5 кГц – 0,068 м, что необходимо учитывать в ЭАР.

**Интерференция звука**

Интерференция звука – процесс наложения (смешения) различных звуко-



**Рис. 3.** Частотно-динамический диапазон для различных звуковых источников

вых волн, результатом которого может быть как усиление (при сложении), так и уменьшение (ослабление при вычитании) звуковых волн (гармоник). В ЭАР эффект интерференции учитывается: при расстановке речевых оповещателей, например, недопущение излишней концентрации звуковой энергии [4].

**Частотный и динамический диапазоны**

На рис. 3 приведены значения динамического и частотного диапазонов для различных звуковых источников и человеческой речи. Частотно-динамическая область, соответствующая требованиям НД, выделена прямоугольником:

Минимальный уровень звукового давления, воспринимаемый человеком – порог слышимости, составляет 0 дБ (20 мкПа или 1012 Вт/м²). Болевой порог начинается от уровня примерно 120 дБ (20 Па или 1Вт/м²). Динамический диапазон человеческой речи лежит в пределах

примерно от 30 до 70 дБ. Уровень 30 дБ соответствует тихому разговору, 70 дБ – громкой речи. Согласно требованиям НД: для обеспечения уверенной слышимости и разборчивости на фоне среднего шума уровень громкости не должен быть ниже 75 дБ и выше 120 дБ – уровня, приближающегося к болевому порогу.

**Общие сведения о звуковом давлении**

Звуковое давление – энергия, падающая на единицу площади, расположенную в заданном направлении и на определенном расстоянии от источника звука. Звуковое давление измеряется в паскалях (Па). Человек слышит звук в широком динамическом диапазоне. Количество градаций динамического диапазона, измеряемого в паскалях, слишком велико (миллион) и, как следствие, не совсем удобно, поэтому на практике звуковое давление измеряют в относительных единицах (сравниваемых с опорным значением), называемых уровнями звукового давления и измеряе-

Зависимость уровней звукового давления в дБ, от звукового давления в мкПа



**Рис. 4.** Графическая зависимость уровней звукового давления в дБ от звукового давления в мкПа

мых в децибелах (дБ). За опорный уровень звукового давления принимается значение  $P_0 = 20$  мкПа, соответствующее нижнему порогу слышимости. Формула для пересчета звукового давления в паскалях,  $P_{\text{ПА}}$ , Па, в уровни звукового давления в децибелах,  $P_{\text{дБ}}$ , дБ:

$$P_{\text{дБ}} = 20 \lg \left( \frac{P_{\text{ПА}}}{P_0} \right), \quad (3)$$

где  $P_0$  – опорный уровень звукового давления,  $P_0 = 20$  мкПа.

Графическая зависимость уровней звукового давления в децибелах от звукового давления в микропаскалях представлена на рис. 4.

Работать с уровнями звукового давления, измеряемого в дБ, намного удобней. Из рис. 4 видно, что широкому звуковому диапазону (20–20000000 мкПа) соответствует достаточно компактный диапазон в децибелах (0–120 дБ). Для нас с вами децибелы стали вполне привычными. Даже школьники знают, что, например, шум реактивного двигателя самолета достигает 130–140 дБ. Есть одна тонкость – человек воспринимает громкость в виде интенсивности. Дадим определение.

#### Интенсивность звука

Интенсивность звука  $I$  – поток звуковой энергии, прошедшей через единицу поверхности (площадью  $1 \text{ м}^2$ ), в единицу времени (за  $1 \text{ с}$ ) в направлении, являющимся нормалью к данной поверхности. По-другому, интенсивность звука – это количество энергии, переносимое звуковой волной за единицу времени через единицу площади, перпендикулярной к направлению распространения волны. Измеряется эта величина в Вт/м<sup>2</sup>. Тогда, уровень интенсивности звука  $N$  в децибелах, называемая силой звука, определяет громкость, с которой мы слышим:

$$N = 20 \lg \left( \frac{I}{I_0} \right), \quad (4)$$

где  $I$  – интенсивность звука в данной точке;  $I_0$  – интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости,  $I_0 = 2 \cdot 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Громкость является субъективной величиной, связанной с особенностями человеческого восприятия, подчиняющегося фундаментальной зависимости, известной как закон «Вебера-Фехнера»: Ощущение пропорционально логарифму раздражения. За единицу интенсивности принимается один бел (в честь изобретателя Грейма-Белла), а для практических оценок громкости служит величина, в 10 раз меньшая бела – децибел, краткое сокращение – «дБ».

Теперь мы готовы приступить к анализу основных нормативных требований в области пожарной безопасности (ПБ), необходимых для выполнения ЭАР.

## Основные нормативные требования

### Требования к уровню громкости

Согласно требованиям стандарта [3]: уровень звукового давления, развиваемый пожарными оповещателями на расстоянии  $(1,00 \pm 0,05)$  м, должен быть не менее 70 дБ для речевых оповещателей и не менее 85 дБ для звуковых оповещателей.

Данное требование вступает в некоторое противоречие с требованием свода правил [4], согласно которому уровень звукового давления, развиваемый речевым оповещателем, должен быть не ниже 75 дБА на расстоянии 3 метров.

### Требования к качеству воспроизводимой информации

Согласно требованиям стандарта [3]: диапазон воспроизводимых частот должен быть указан в ТД на речевые пожарные оповещатели конкретных типов, но не уже, чем от 500 до 3500 Гц при неравномерности частотной характеристики в диапазоне не более 16 дБ. Частота генерируемых звуковым пожарным оповещателем сигналов должна быть в пределах полосы от 200 до 5000 Гц. В технически обоснованных случаях допускается расширение предела до 10000 Гц. Частотная характеристика сигналов должна быть установлена в ТД на звуковые пожарные оповещатели конкретных типов.

Данное требование вступает в некоторое противоречие с требованием свода правил [4], согласно которому: речевые оповещатели должны воспроизводить нормально слышимые частоты в диапазоне от 200 до 5000 Гц (без указания неравномерности).

### Требования к восприятию

Согласно требованиям технического регламента по ПБ [8]: речевые оповещатели должны быть расположены таким образом, чтобы в любой точке защищаемого объекта, где требуется оповещение людей о пожаре, обеспечивалась разборчивость передаваемой речевой информации.

Согласно требованиям свода правил [4]: звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать общий уровень звука (уровень звука постоянного шума вместе со всеми сигналами, производимыми оповещателями) не менее 75 дБА на расстоянии 3 м от оповещателя, но не более 120 дБА в любой точке защищаемого помещения. Звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать уровень звука не менее чем на 15 дБА выше допустимого уровня звука постоянного шума в защищаемом помещении. Измерение уровня звука должно проводиться на расстоянии 1,5 м от уровня пола.

### Требования к расположению и установке громкоговорителей

Согласно требованиям свода правил [4]: настенные звуковые и речевые оповещатели должны располагаться таким образом, чтобы их верхняя часть была на расстоянии не менее 2,3 м от уровня пола, но расстояние от потолка до верхней части оповещателя должно быть не менее 150 мм. Установка громкоговорителей речевых оповещателей в защищаемых помещениях должна исключать концентрацию и неравномерное распределение отраженного звука. Количество звуковых и речевых пожарных оповещателей, их расстановка и мощность должны обеспечивать уровень звука во всех местах постоянного или временного пребывания людей в соответствии с нормами настоящего свода правил.

Стандарт [2] дополняет данные требования. При проектировании СОУЭ необходимо учитывать распространение звуковых волн в защищаемых помещениях с учетом:

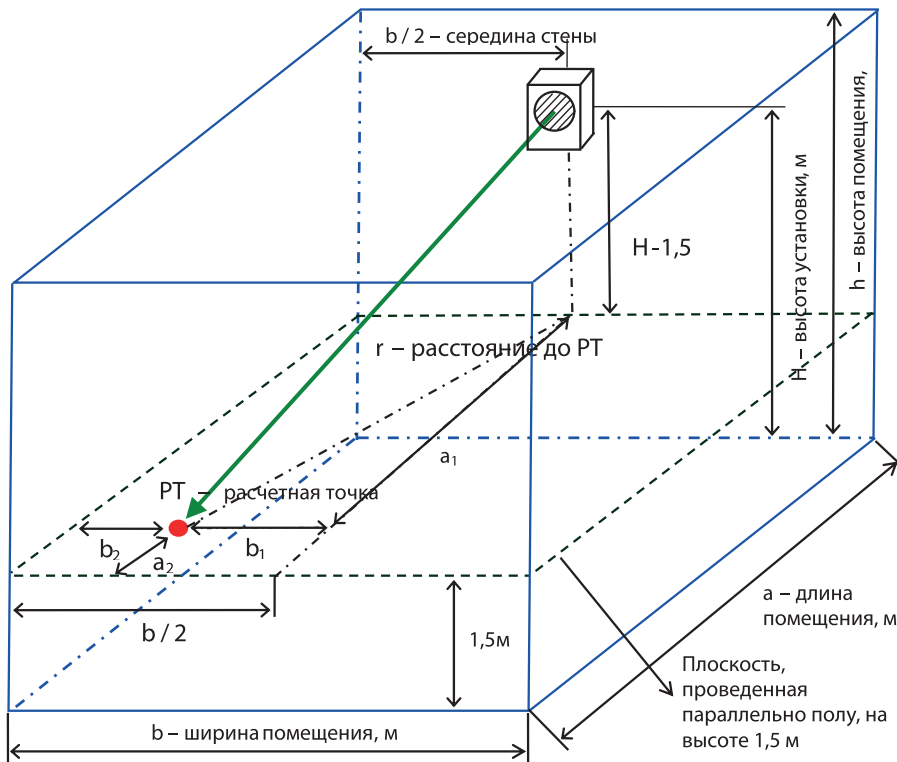
- Уровня звукового давления, применяемого пожарного звукового или речевого оповещателя, измеряемого в дБА.
- Уровня звука постоянного (фоновый) шума в помещении; наличия препятствий для распространения звуковых волн между абонентом и пожарным оповещателем (двери, стеллажи, оборудование, предметы мебели и т. д.); объемно-планировочных решений помещения.

### Требования к испытаниям и выбору расчетных точек

Согласно требованиям стандарта [2]: Б.4.1 «Проверку контроля уровня звука (для звуковых и речевых пожарных оповещателей) проводят в наиболее отдаленном от оповещателя месте или помещении без оповещателей...». Далее указывается последовательность измерений, осуществляемая в помещениях защищаемого здания при закрытых дверях, открытых форточках (фрамугах) и работающих системах противодымной вентиляции.

### Определение расстояния до расчетных точек

Дадим определение расчетной точки. Расчетная точка (РТ) – точка, выбираемая на расчетной плоскости – (мнимой) плоскости, проведенной параллельно полу на высоте 1,5 м, наиболее удаленная от звукового источника (громкоговорителя). Расстояние от громкоговорителя до РТ,  $r$ , м, можно измерить дальномером, но это далеко не всегда возможно. Для определения данного расстояния рулеткой обратимся к рис. 5:



**Рис. 5.** Вычисление расстояния до РТ

На рисунке изображено защищаемое (проектируемое или озвучиваемое) помещение длиной  $a$ , м, шириной  $b$ , м и высотой  $h$ , м. Громкоговоритель настенного исполнения установлен посередине стены (шириной,  $b$ ) на высоте  $H$ , м, и направлен вдоль помещения (длины,  $a$ , м). РТ выберем в максимально удаленном от громкоговорителя месте и определим расстояние  $r$ , м, от громкоговорителя до РТ при помощи рулетки. Для определения  $r$  воспользуемся теоремой Пифагора:

$$r = \sqrt{(H - 1,5)^2 + a_1^2 + b_1^2}, \quad (5)$$

где  $a_1$ ,  $b_1$  определяются согласно рисунка.

Если удобнее измерить расстояние от РТ до ближайших стен,  $a_2$ , м,  $b_2$ , м, то из соотношений  $a_1 = a - a_2$ ;  $b_1 = b/2 - b_2$  можно записать:

$$r = \sqrt{(H - 1,5)^2 + (a - a_2)^2 + (b/2 - b_2)^2}. \quad (6)$$

## Уровни шумов

Уровень звукового давления шума (УШ) является одним из наиболее важных параметров, учитываемых в ЭАР. Обратимся еще раз к нормативам. Согласно требованиям технического регламента по ПБ [8]: в любой точке защищаемого объекта, где требуется оповещение людей о пожаре, уровень громкости, формируемый звуковыми и речевыми оповещателями, должен быть выше допустимого уровня шума.

На вопрос – что такое допустимый уровень – отвечает свод правил: звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать уровень звука не менее чем на 15 дБА выше допустимого уровня звука постоянного шума в защищаемом помещении.

Из данного требования следует два очевидных момента:

- Точность расчетов определяется точностью определения УШ.
- В качестве уровня шума необходимо принимать его постоянное значение.

Укажем наиболее характерные значения уровней постоянного шума для различных помещений (табл. 1).

Одним из наиболее важных является вопрос – откуда брать эти УШ? Дело в том,

что проектировщик имеет дело не с конкретным, уже построенным объектом (помещением), УШ в котором можно измерить при помощи шумомера, а с проектируемым (строящимся), поэтому УШ правильней всего определять из шум-таблицы [7]. В данной таблице указываются усредненные значения, как по времени, так и по частоте. Усреднение по времени учитывает период пребывания людей в защищаемом помещении. При этом усреднение по частоте выполнено для 9 среднегеометрических частот с учетом коррекции по таблице 1.

*Комментарий:* Ввиду отсутствия унификации, недостаточности как нормативных требований к параметрам, так и к ТД, производители предоставляют данные на свои изделия в весьма редуцированном виде. Получить данные для выполнения грамотного акустического расчета, выполняемого для каждой среднегеометрической частоты, с дальнейшей коррекцией и суммированием, не представляется возможным, поэтому дальнейшее изложение будет построено в предположении выполнения т.н. элементарного ЭАР. Дадим определение: элементарным будем называть расчет, выполняемый для одной частоты – 1 кГц. В качестве шума будем использовать значение уровня эквивалентного шума  $LA_{Экв}$ , дБА, из шум-таблицы. Преимущество использования частоты 1 кГц очевидно:

- Ее можно рассматривать как среднегеометрическую частоту нормативно-частотного диапазона (200 Гц до 5 кГц).
- Для частоты 1 кГц не осуществляется коррекция по шкале «А» (для 1 кГц дБ = дБА). Большинство производителей предоставляют характеристики на свои речевые оповещатели именно для этой частоты.

Рассмотрим фрагмент шум-таблицы (табл. 2).

В данной таблице для различных помещений приводятся:

- нормируемые параметры постоянного шума – уровни звукового давления ( $L$ , дБ)

**Табл. 1.** Характерные уровни постоянного шума для некоторых помещений

Назначение помещений	УШ, дБ
Медицинские кабинеты, палаты	35
Учебные заведения, классы, конференц-залы	45
Административные здания, офисы, холлы	50
Общепит, кафе, рестораны, маркеты	55
Вокзалы, спортивные залы	60
Автостоянки, автостанции, парковки	70
Железнодорожные станции, платформы	80
Метрополитены	85
Промышленные предприятия	90

**Табл. 2.** Фрагмент шум-таблицы из СП 51.13330.2011 «Защита от шума»

Назначение помещений или территорий	Уровни звукового давления L, дБ (эквивалентные уровни звукового давления), дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука LA (эквивалентный уровень звука LAэкв), дБА	Максимальный уровень звука LАмакс, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1 Рабочие помещения административно-управленческого персонала ...	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60	75

для 9-октавных полос со среднегеометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц;

- эквивалентные уровни непостоянного (прерывистого и колеблющегося во времени) звукового давления, усредненного по времени и по частоте, LAэкв, дБА – уровня звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени;
- максимальные уровни звукового давления LАмакс, дБА – эквивалентного (по энергии) уровня звука – уровня звука постоянно широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

Легитимность использования упрощенной методики расчетов связана с тем, что мощность суммарного сигнала (для всех полуоктавных частот) гарантированно превышает мощность сигнала на одной частоте (1кГц).

### Основные параметры громкоговорителей, необходимые для выполнения ЭАР

Громкоговоритель, как электроакустический преобразователь, является важнейшим элементом системы оповещения. Параметры громкоговорителя являются входными для ЭАР. Параметром, определяющим эффективность громкоговорителя, является его звуковое давление на выходе, измеряемое в децибелах (дБ). Звуковое давление, в свою очередь, определяется двумя параметрами – чувствительностью громкоговорителя (дБ) и его электрической мощностью, измеряемой в ваттах (Вт).

#### Звуковое давление громкоговорителя

Уровень звукового давления, развиваемого громкоговорителем, определяет его громкость. При произвольном значении подводимой электрической мощности  $P_{вт}$  уровень звукового давления громкоговорителя (его фактическую громкость) можно определить как:

$$P_{дБ} = P_0 + 10 \log \frac{P_{вт}}{P_{пор}}, \quad (7)$$

где  $P_0$  – чувствительность громкоговорителя, дБ;  $P_{вт}$  – мощность громкоговорителя, Вт;  $P_{пор}$  – пороговая мощность;  $P_{пор} = 1$ Вт.

Звуковое давление, развиваемое громкоговорителем – важный параметр. В ТД он указывается двумя способами - в виде чувствительности, и в виде электрической мощности.

Существует два вида чувствительности:

- *Характеристическая чувствительность* (дБ) – отношение среднего звукового давления, развиваемого громкоговорителем в номинальном диапазоне частот на рабочей оси на расстоянии 1м от рабочего центра, к квадратному корню из подводимой электрической мощности.

Большинство производителей в качестве характеристики громкости указывают осевую чувствительность.

- *Осевая чувствительность* (иногда просто чувствительность) – отношение звукового давления, развиваемого в точке свободного поля, выбранной на рабочей оси громкоговорителя на расстоянии 1 м от рабочего центра, к подводимой мощности (как правило, 1 Вт).

Мощность громкоговорителя – важный параметр, обязательно присутствующий в технической документации (ТД), но не всегда бывает понятно, какую именно мощность указывает тот или иной производитель.

В рекомендациях Международного электротехнического комитета (МЭК) 268-5 «Элементы электроакустических систем. Громкоговорители» и 581-7 «Минимальные требования к аппаратуре «Hi-Fi». Громкоговорители» [9] приводятся различные виды мощностей. Мы же рассмотрим наиболее актуальные:

- *Максимальная синусоидальная мощность* (англ. RMS – Rated Maximum Sinusoidal) громкоговорителя – это мощность непрерывного синусоидального сигнала в заданном диапазоне частот, которую громкоговоритель может выдержать без механических и термических повреждений в течение промежутка времени (не менее 1 часа), указанного в спецификации.

Номинальная мощность громкоговорителя – электрическая мощность, при которой нелинейные искажения громкоговорителя не превышают требуемых значений.

В звуковых трансляционных системах подноминальной мощностью иногда принимают мощность, при которой в некотором (среднем) положении регулятора громкости усилителя нелинейные искажения громкоговорителя отсутствуют (не воспринимаются на слух).

Паспортная мощность громкоговорителя определяется как наибольшая электрическая мощность, при которой громкоговоритель может длительное время удовлетворительно работать на реальном звуковом сигнале без тепловых и механических повреждений.

Именно этот вид мощности и должен указываться в ТД.

#### Качество громкоговорителя

Качество громкоговорителя в наибольшей степени определяет его частотная характеристика.

Частотная характеристика громкоговорителя по звуковому давлению – это графическая или численная зависимость уровня звукового давления от частоты сигнала, развиваемого громкоговорителем в определенной точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра при постоянном значении напряжения на выводах громкоговорителя. Более привычное название данной зависимости – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

Эффективно воспроизводимый диапазон частот – диапазон частот, в пределах которого уровень звукового давления понижается на некоторое заданное значение по отношению к уровню, усредненному в определенной полосе частот. Например, по рекомендациям МЭК 581-7 («Минимальные требования к аппаратуре «Hi-Fi») для полосы частот 50...12500 Гц величина данного уменьшения (спада) устанавливается равной 8дБ по отношению к уровню, усредненному в полосе частот 100...8000 Гц (см. далее).

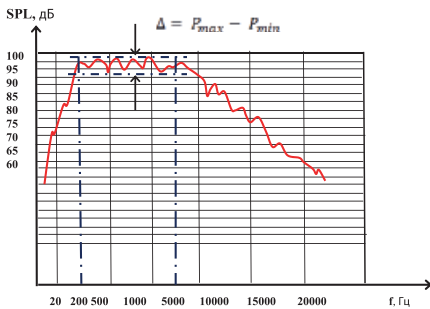
Частотная характеристика громкоговорителя по звуковому давлению – это графическая или численная зависимость уровня звукового давления от частоты сигнала, развиваемого громкоговорителем в определенной точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра при постоянном значении напряжения на выводах громкоговорителя. Более привычное название данной зависимости – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

#### Неравномерность частотной характеристики звукового давления

Зависимость звукового давления (дБ) от частоты (f, Гц) изображается на диаграммах (представленных в декартовой системе координат), называемых амплитудно-частотными характеристиками громко-

ворителя. Термин АЧХ является наиболее привычным, но следует помнить, что в технической литературе, а также в стандарте [9] данная зависимость называется частотной характеристикой звукового давления (ЧХЗД). Ширина частотного диапазона находится в прямой зависимости от неравномерности. Под неравномерностью АЧХ (ЧХЗД),  $\Delta$ , дБ, следует понимать разность между максимальным  $P_{max}$ , дБ и минимальным  $P_{min}$ , дБ, уровнями в эффективном (заявленном в ТД) частотном диапазоне.

$$\Delta = P_{max} - P_{min} \quad (8)$$



**Рис. 6.** Определение неравномерности АЧХ

На рис. 6 изображена АЧХ громкоговорителя с неравномерностью  $\Delta$ , дБ, не более 5% в диапазоне 0,2–5 кГц.

В соответствии с ОСТ 4.382.001 неравномерность АЧХ в эффективном рабочем диапазоне частот не должна превышать – 14 дБ для широкополосных головок (громкоговорителей); 10 дБ – для среднечастотных. Согласно требованиям стандарта [3], неравномерность речевого оповещателя в диапазоне: 500 Гц–3,5 кГц не должна превышать 16 дБ.

Неравномерность АЧХ громкоговорителя определяется типом электромеханического преобразователя; размером излучателя; конструктивным (акустическим) оформлением; частотными зависимостями входного электрического и механического импедансов и определяет качество звучания громкоговорителя в целом. Пример частотной характеристики (зависимости) звукового давления (ЧХЗД) приведен в следующей главе.

### Характеристика направленности громкоговорителя

Любой громкоговоритель излучает звуковую энергию неравномерно. Уровень звукового давления громкоговорителя существенно зависит от угла, на котором производится измерение. Наибольшее количество энергии громкоговоритель излучает вдоль рабочей оси. Рабочая ось, как правило, совпадает с геометрической осью громкоговорителя, проходящей через его рабочий центр. Рабочий центр со-

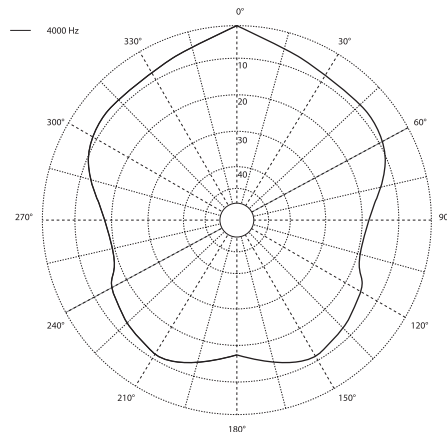
впадает с геометрическим центром симметрии выходного отверстия громкоговорителя. Зависимость звукового давления громкоговорителя от направления называется характеристикой направленности.

Характеристика направленности громкоговорителя ( $R_{\theta}$ ) – зависимость звукового давления  $P_{\theta}$  развиваемого громкоговорителем в точке свободного поля (на фиксированном расстоянии от рабочего центра, например, на 1 м), от угла  $\theta$  между рабочей осью громкоговорителя и направлением на данную точку:

$$X_{\theta} = \frac{P_{\theta}}{P_0} \quad (9)$$

где  $P_{\theta}$  – уровень звукового давления, развиваемый в точке свободного поля;  $P_0$  – уровень звукового давления, измеренный на рабочей оси громкоговорителя (в паскалях).

Зависимость (9) можно получить из графического представления, как зависимости звукового давления от угла раскрытия. Для удобства восприятия и наглядности диаграмма направленности (ДН), как зависимость звукового давления от угла раскрытия, представляют в полярных координатах.



**Рис. 7.** Идеализированная (сглаженная) диаграмма направленности громкоговорителя

Диаграммы направленности в полярных координатах, частотные зависимости в декартовых координатах указываются не в абсолютных (паскалях), а в относительных величинах – децибелах (дБ). Для перехода к абсолютным значениям нужно использовать операцию обратного логарифмирования, тогда зависимость (9) можно переписать как:

$$X_{\theta} = 10^{0,05(P_{\theta}-P_0)} \quad (10)$$

В данной формуле представлена непосредственная (прямая) возможность учета характеристики направленности в практических расчетах. При этом на практике достаточно широкое распространение полу-

чила такая характеристика, как ширина диаграммы направленности, использование которой было представлено в статье [10].

**Нормативные и фактические основания для возможности выполнения электроакустического расчета мы указали в данной статье, а к способам его выполнения мы планируем обратиться в следующей**

Продолжение следует...

### Список литературы

- Кочнов О.В. Специфика проектирования систем проводного речевого оповещения: монография. Казань: Издательство «БУК», 2023. 312 с.
- ГОСТ Р 59639-2021. Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность [дата введения 15.09.2021].
- ГОСТ 34699-2020. Технические средства оповещения и управления эвакуацией пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Российский институт стандартизации, 2021.
- СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
- ГОСТ Р 42.3.01-2021. Гражданская оборона. Технические средства оповещения населения. Классификация. Общие технические требования. М.: Стандинформ, 2021.
- СНиП 23–03–2003. Защита от шума. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 32 с.
- СП 51.13330.2011. Защита от шума. М.: Минрегион России, 2011.
- Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2007 г. №123-ФЗ.
- ГОСТ Р 53575-2009 (МЭК 60268-5:2003). Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний. М.: Стандинформ, 2011.



**8 (495) 937-5341/42**  
**(многоканальные),**  
**8 (800) 3333-005**  
**(бесплатный),**  
**info@escortpro.ru,**  
**support@escortpro.ru,**  
**www.escortpro.ru**