

2.

**ОСОБЕННОСТИ
ЭЛЕКТРО-
АКУСТИЧЕСКОГО
РАСЧЕТА**

2.1. Основные термины и определения

Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) – комплекс организационных мероприятий и технических средств, предназначенный для своевременного сообщения людям информации о возникновении пожара, необходимости эвакуироваться, путях и очередности эвакуации.

Оповещатель пожарный – техническое средство, предназначенное для оповещения людей о пожаре посредством подачи светового, звукового или речевого сигнала.

Звуковые оповещатели – представители более широкого класса устройств, имеющего название пожарные оповещатели, служат для преобразования электрического звукового сигнала на входе, в акустический звуковой сигнал на выходе.

Громкоговоритель – звуковой оповещатель. Данный термин чаще используется на практике, характерен для систем звукового обеспечения СЗО (далее мы будем использовать термин громкоговоритель).

Звук – разновидность кинетической энергии, которая называется «акустической» и представляет собой пульсацию давления, возникающую в физической среде при прохождении звуковой волны.

Интенсивность звука – сила звука, средняя по времени энергия, переносимая звуковой волной через единичную площадку, перпендикулярную к направлению распространения волны в единицу времени.

Громкость звука – величина слухового ощущения, зависящая от интенсивности звука и его частоты. При неизменной частоте громкость звука растет с увеличением интенсивности. При одинаковой интенсивности наибольшей громкостью обладают звуки в диапазоне частот 700-6000 Гц. Нулевой уровень громкости звука соответствует звуковому давлению 20 мкПа и силе звука 10^{-12} Вт/м² при частоте 1 кГц.

Звуковое давление – звуковая энергия, которая попадает на единицу площади, расположенную в заданном направлении от источника звука и удаленную от него на определенное расстояние (как правило, на 1 м). Звуковое давление измеряется в паскалях (Па).

Децибел – логарифмическая единица уровней, затуханий и усилений, безразмерная относительная характеристика, позволяющая сравнивать между собой нужные величины:

Величина в децибелах = $10 \lg (\text{Вычисляемое величина} / \text{Опорная (базисная) величина})$

Децибелы используются в качестве характеристики, определяющей уровень звукового давления, чаще применяются на практике из-за большего удобства. Считается, что человек слышит в диапазоне 0 – 120дБ ($20 - 20 \times 10^6$ мкПа).

Уровень звукового давления (англ. *SPL*, Sound Pressure Level) — значение звукового давления, измеренное по относительной шкале, отнесённое к опорному давлению $P_{spl} = 20$ мкПа, соответствующему порогу слышимости синусоидальной звуковой волны частотой 1 кГц: *SPL* — измеряется в децибелах, дБ.

Чувствительность громкоговорителя — звуковое давление, громкоговорителя измеренное при номинальной мощности 1Вт, на расстоянии 1м (в дБ).

Динамический диапазон — разность между минимальными и максимальными величинами.

Ширина диаграммы направленности громкоговорителя (*ШДН*, Град.) — значение угла раскрыва, при котором сохраняются основные характеристики громкоговорителя.

Реверберация — процесс постепенного уменьшения интенсивности звука при его многократных отражениях.

Время реверберации — это время, необходимое для уменьшения звука на 60 дБ, начиная с момента, в который звуковой источник прерывает излучение первоначального звука.

2.2. Общие положения

Этапы электроакустического преобразования

На рис. 2.1 изображены основные этапы электроакустического преобразования и передачи энергии от получателя к потребителю.

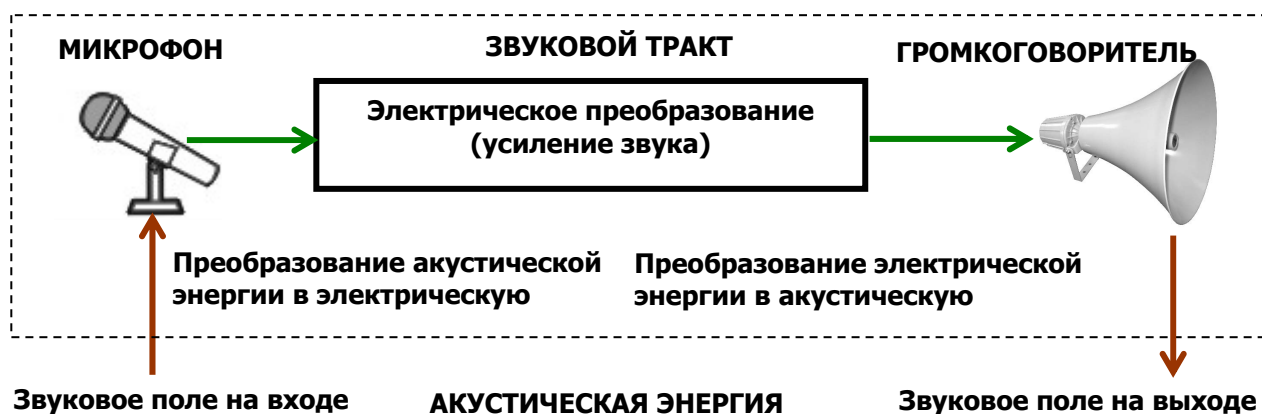


Рис. 2.1 Этапы электроакустического преобразования.

Звук, проходя от источника (микрофона) до получателя (громкоговорителя), претерпевает 3 вида преобразований:

- 1) Акустико-электрическое преобразование;
- 2) Электрическое преобразование (усиление);
- 3) Электроакустическое преобразование.

Входными данными для электроакустического расчета является результат всего преобразования – величина акустической энергии на выходе громкоговорителя (громкость звука).

Более подробно элементы данной цепи, будут рассматриваться в следующих главах.

Элементарные сведения о звуке

В звуке можно выделить следующие определяющие элементы: высота (высокий / низкий), интенсивность (слабый / сильный), тембр (мягкий, ясный и т.д.). Тембр, определяемый гармониками, формирует слуховые ощущения, то есть, позволяет отличать один музыкальный инструмент или голос от другого. Скорость, с которой распространяется звук, строго связана с характером (природой) упругих сред. Далее мы будем рассматривать прохождение звука только через воздух. Скорость звука в воздухе составляет примерно 340 м/с и меняется с изменением температуры. Для расчета скорости звука при различных температурах, используется следующая формула:

$$V = 20,06 \sqrt{273 + t} \text{ м/с}$$

где V – скорость звука в м/с;

t – температура воздуха в градусах Цельсия.

Если частота звуковых колебаний находится между 20 и 20000 раз в секунду (Гц), то данные вибрации производят у человека слуховое ощущение. Считается, что человек слышит звуки в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц, но практически слышимый диапазон находится в пределах от 100 Гц до 10 кГц (низкий мужской голос 400Гц, женское сопрано 9 кГц).

Отношение скорости звука к его частоте есть расстояние, пройденное звуковой волной за один период, по другому называется длиной звуковой волны:

$$\lambda = V / f \tag{2.1}$$

где λ - длина волны, м;

V – скорость звука, м/с;

f – частота, Гц.

На рис. 2.2 дано графическое представление волнового колебательно-го процесса.



Рис. 2.2 Графическое представление волнового колебательно-го процесса

Полный период колебания волны (звукового давления) состоит из полупериода сжатия (повышения давления) и последующего полупериода разрежения молекул воздуха (понижения давления). Звуки с большей амплитудой (громкие) вызывают более сильное сжатие и разрежение молекул воздуха, чем звуки с меньшей амплитудой (тихие).

В зависимости от контекста существует множество различных определений звука:

Звук – это упругие волны, продольно распространяющиеся в среде и создающие в ней механические колебания.

Чтобы понять, как распространяются данные волны, дополним это определение:

Звук – это процесс последовательной передачи колебательного состояния в упругой среде.

В современной физике утвердился взгляд, при котором многие процессы отождествляют с энергией.

Звук – это разновидность кинетической энергии, которая называется «акустической» и представляет собой пульсацию давления, возникающую в физической среде при прохождении звуковой волны.

Звук распространяется по волновым законам, следовательно, к нему применимы такие общие физические понятия, как интерференция и дифракция. Результатом интерференции может быть как усиление, так и уменьшение уровня звука, например, при сложении одного и того же сигнала, но с различной фазировкой.

При расчете параметров звукового поля на открытых пространствах следует учитывать множество различных факторов, например, влажность, ветер, температуру, например, при высокой температуре звук распространяется вверх, а при низкой температуре – вниз.

Частотный и динамический диапазоны

На рис. 2.3 приведены частотные и динамические диапазоны различных звуковых источников. Из рисунка видно, что динамический диапазон человеческой речи лежит в пределах от 30 до 100 дБ. Уровень 30 дБ соответствует тихому разговору, 100 дБ сильному крику.

Под порогом слышимости будем понимать минимальные значения звукового давления, при которых звук еще воспринимается человеком. Считается, что человек слышит сигналы от 1 до 130 дБ. Уровень 1 дБ называется порогом слышимости *AUX* (от англ. auxiliary). 130 дБ – это болевой порог.

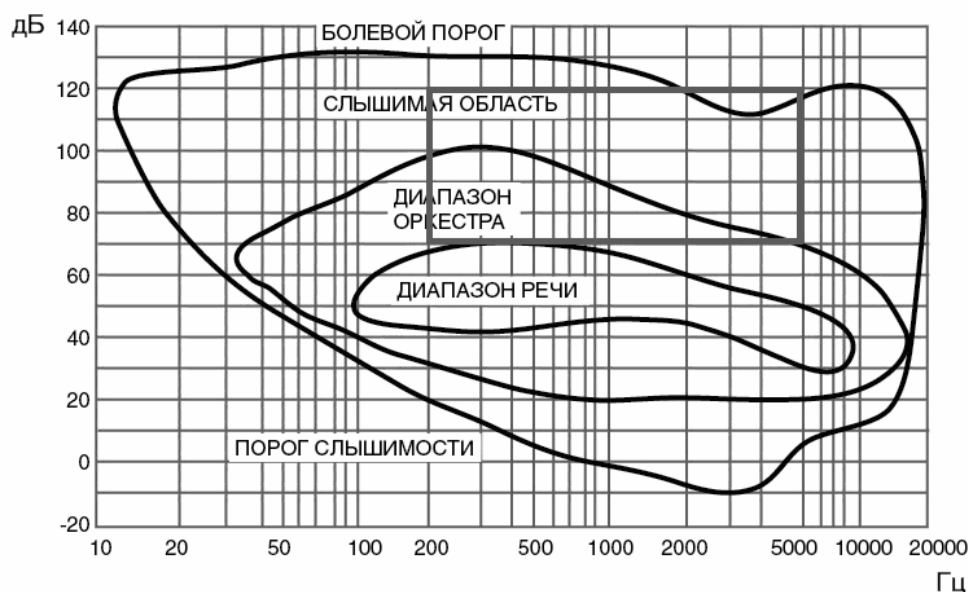


Рис. 2.3 Частотный и динамический диапазоны различных звуковых источников

Согласно нормативам громкоговорители должны воспроизводить нормально слышимые частоты в диапазоне от 200 до 5000 Гц.

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.

Выбранная ширина динамического диапазона имеет обоснование. Она определена особенностями человеческого восприятия (данные вопросы изучаются в акустике). Нижний порог громкости (~75дБ), обеспечивает необходимую разборчивость на фоне среднестатистического уровня шума, верхний порог (120дБ) – очень громкий, дискомфортный звук, превышение которого может привести к болевым ощущениям и провоцированию паники.

Уровень шума

Одним из наиболее важных параметров при расчете уровня звукового давления является уровень шума. Установлено, что человек способен (слышать) улавливать звуки с уровнем 1дБ (20мкПа, 10-12 Вт/м²), который называется порогом слышимости *AUX*. Но это возможно только при хорошем слухе и в отсутствии шума. Так как в реальных условиях, шум всегда присутствует, то различить полезную (звуковую) информацию на фоне шума можно при условии, что уровень звука превышает уровень шума, как минимум на 3 дБ (в 2 раза). Для хорошей разборчивости данная разница должна составлять минимум 6дБ (в 4 раза). В нормативной же документации данный запас составляет 15дБ.

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.

Для простых случаев уровень шума определяется из таблиц или диаграмм рис. 2.4. Для точных расчетов (при проектировании) используются регламентированные значения шумов (см. Приложение 1). В наиболее сложных случаях, следует пользоваться измерительным прибором (шумомером).

Не следует забывать, что уровень шума (например, в супермаркете), может существенно зависеть от времени суток. Для расчетов следует использовать усредненное значение.

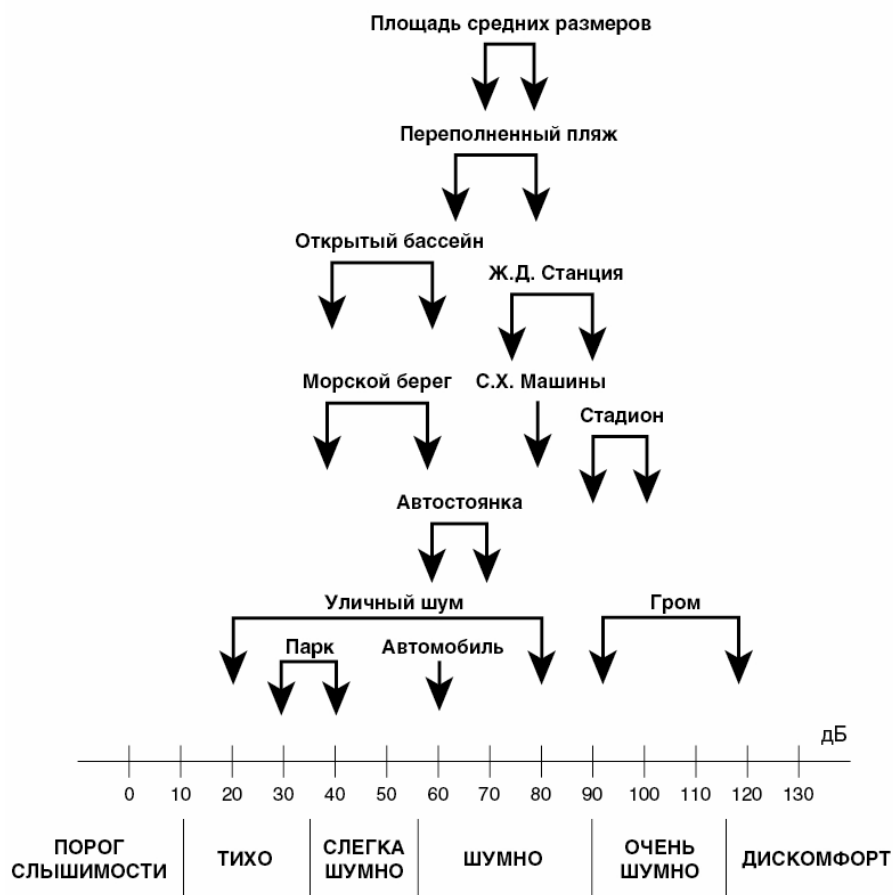


Рис. 2.4 Уровни шума для различных пространств.

Эквивалентный (по энергии) уровень звука, дБ, непостоянного шума - уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

Анализ окружающей среды

Окружающая среда, в которой функционирует СОУЭ, должна рассматриваться как компонент системы. Тщательный анализ этой среды, является определяющим фактором в выборе элементов формируемой цепи. Для анализа окружающей среды наиболее часто используются два инструмента: измеритель уровня звука, которым оценивается окружающий уровень шума, и измеритель нелинейности, который показывает уровень искажения и деградации, которой подвергнут звуковой сигнал. Последний имеет передатчик и приемник, работающие с шифрованными сигналами (RASTI метод) для обеспечения величины разборчивости за несколько секунд с учетом реверберации окружающей среды. Данная величина характеризуется "индексом раз-

борчивости" (между 0 и 1). Для объектов, специфика которых не критична с точки зрения акустики (торговые центры, офисы, дома) необходимость в применении более сложных измерителях отсутствует.

2.3 Реверберация

В акустике присутствует множество различных факторов, которые необходимо учитывать при выборе и расстановке громкоговорителей. Одним из таких факторов является реверберация.

Звук в закрытых или открытых пространствах распространяется по разному. Стены комнаты отражают звуковые волны, тогда как на открытой площадке волны проходят практически без столкновений с какими-либо препятствиями. В закрытом пространстве за счет отражений уровень звука выше. В открытом пространстве звук распространяется практически по прямой. Прямой звук идентичен оригиналу по качеству и форме. Отраженный звук, наоборот, сильно зависит от отражающей способности места.

Отраженный звук, после неопределенного числа отражений, достигает слушателя со всех сторон, и слушатель не может точно установить точку его происхождения. Распространение звука в этом случае происходит через первичные и вторичные отражения исходного звука от горизонтальных и вертикальных поверхностей помещения. Уровень отражения в большой степени зависит от характера стен, типа материала, из которого они сделаны, их гладкости, поглощающих свойств и изменения поглощения на различных частотах. Мебель также может играть решающую роль в распространении звука – в зависимости от ее расстановки и поглощающей способности. Слушателю приходится воспринимать как прямой, так и отраженный звук. Время, с момента, в который звуковой источник прекращает излучать до момента, в который звук больше не воспринимается, определяется как время реверберации.

Вышеописанные взаимозависимые характеристики и условия определяют время реверберации (см. табл. 2.1).

Замечено, что любая среда характеризуется собственной "музыкальной окраской", связанной с распространением отраженных звуков и временем реверберации, которое и характеризует эту среду. Единственной переменной в уже существующей структуре остается мебель. Наилучшие результаты могут быть получены, когда принимается во внимание конструкция мебели, материал, из которого она сделана и ее расстановка в помещении.

Таблица 2.1

Зависимость времени реверберации от различных условий

Действие	Время реверберации, сек	Типичная среда
Только голос	0,6 – 1,2	Залы заседаний, залы суда, аудитории, лекционные залы
Профессиональный аккомпанемент	1,0 – 1,4	Театры, музыкальная комедия, музыкальное сопровождение
Воспроизводимый звук	0,8 – 1,2	Кинотеатры
Многоцелевое использование	1,0 – 1,5	Классные комнаты, публичные залы, многоцелевые места встреч
Опера	1,0 – 1,6	Здания оперы
Только инструменты	1,2 – 1,6	Салоны, камерная музыка
Оркестровая музыка	1,6 – 2,2	Большие концертные залы
Органная и хоровая музыка	2,0 – 4,0	Большие концертные залы, церкви, соборы
Радио переговоры	0,6 – 1,2	
Радио и телестудии	0,25	Кабина диктора, комнаты для записи (управляемые звуком)
Радио театр	0,1	
Транслируемая музыка	0,9	Небольшая студия
Транслируемая музыка	2,0	Большая студия
Телевидение	0,7	

Реверберация – это явление, которое возникает, когда слышен не прямой звук от источника, а отраженный от встречающихся на пути звуковой волны препятствий или помех различного характера.

Для предотвращения нежелательного воздействия отраженного звука на прямой необходимо, чтобы последний, при задержке более чем на 50 мс, достигал слушателя уменьшенным не более чем на 10 дБ. Время реверберации пропорционально объему окружающего пространства и обратно пропорционально суммарному поглощению поверхностей, составляющих ее. Отраженный звук, который достигает уха слушателя через 40-50 мс после прямого, расценивается как усиление, окраска первоначального звука. Отраженные звуки, которые доходят с задержкой 50-80 мс, наоборот, искажают первоначальный сигнал и могут стать причиной потери разборчивости.

Отраженный звук с задержкой более 80 мс производит эхо – явление, также изменяющее разборчивость первичного звука. Посмотрим, какое практическое применение могут иметь приведенные цифры.

На рис. 2.5 изображена ситуация, в которой звук к слушателю поступает от 2-х громкоговорителей, находящихся от него на разном расстоянии, при этом, очевидно, что звук от этих громкоговорителей к слушателю придет с некоторой задержкой.

Обозначим буквой T – время задержки между прямым и отраженным звуковым сигналом. Величина T зависит от скорости звука V и расстояния. Из формулы 2.1 следует:

$$T = |L_1 - L_2| / V \quad (2.2)$$

где L_1 – расстояние от слушателя до громкоговорителя 1;

L_2 – расстояние от слушателя до громкоговорителя 2;

V – скорость распространения звука в воздухе (340м/с).

Заметим, что разность величин L_1 и L_2 , берется по абсолютному значению, что позволяет не обращать внимание на то, какой из громкоговорителей ближе, а какой дальше.

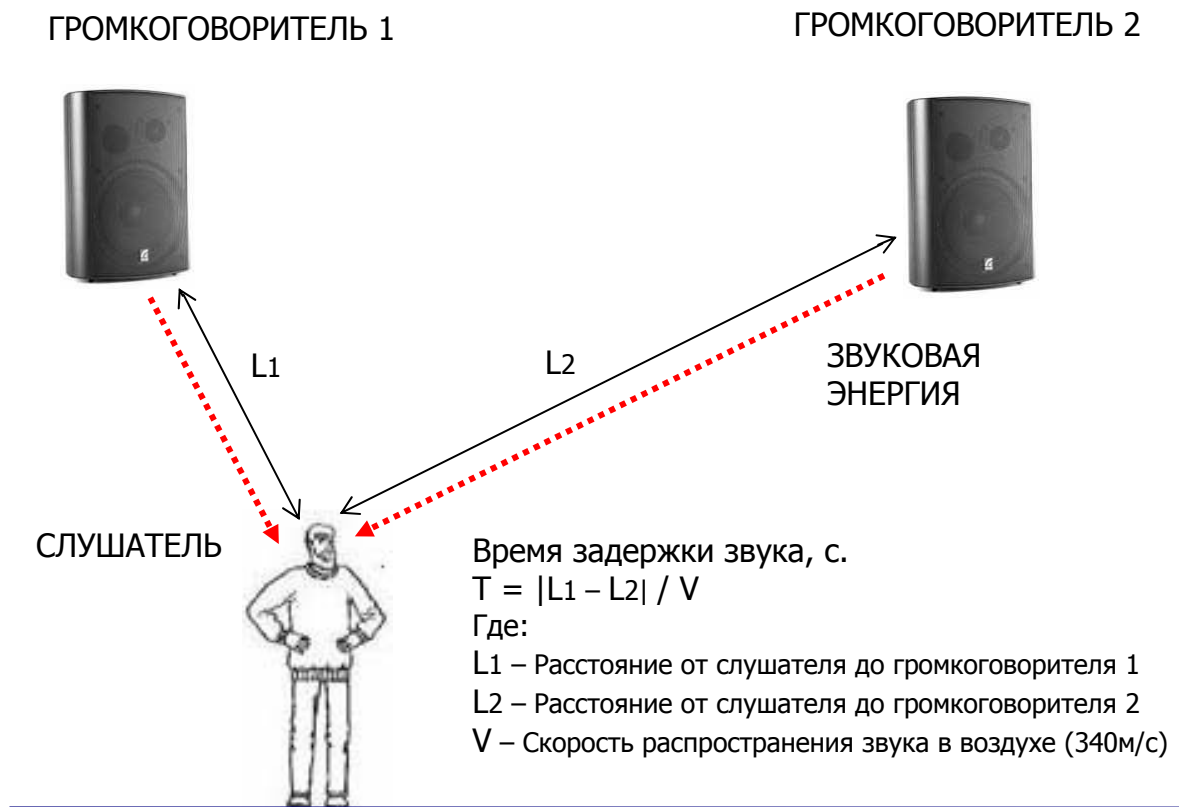


Рис. 2.5 Расчет времени задержки от 2-х громкоговорителей

Задача: Рассчитаем разность расстояний: $L = |L_1 - L_2|$, при которой звук от дальнего громкоговорителя запаздывает относительно ближнего громкоговорителя на время $T = 80$ мс.

Из формулы 2.2 находим: $T = L / V$, $L = T \times V = 0,08 \times 340 = 27$ м. Данную разность, можно считать критической.

Для минимизации уровня отраженного звука, необходимо ограничивать рассеивание и направление звуковой энергии к горизонтальным и вертикальным поверхностям. Этого можно достигнуть, используя узконаправленные громкоговорители.

2.4 Расчет уровня звукового давления

Общие сведения о звуковом давлении

Звуковое давление – звуковая энергия, которая попадает на единицу площади, расположенную в заданном направлении от источника звука и удаленную от него на определенное расстояние (как правило, на 1 м). Звуковое давление измеряется в паскалях (Па).

Уровень звукового давления (англ. *SPL*, Sound Pressure Level) — значение звукового давления, измеренное по относительной шкале, отнесенное к опорному давлению $P_{spl} = 20$ мкПа, соответствующему порогу слышимости синусоидальной звуковой волны частотой 1 кГц:

SPL – измеряется в децибелах, дБ. Децибелы, в отличие от паскалей, чаще применяются на практике из-за большего удобства. Считается, что человек слышит в диапазоне 0дБ - 120дБ (20-200000000 мкПа). В таблице 2.2 приведена зависимость между звуковым давлением в мкПа и уровнем звука в дБ.

Таблица 2.2

Пересчет паскалей в децибелы

Звуковое давление (мкПа)	Уровень звука (дБ)
20	0
60	10
200	20
600	30
2.000	40

Звуковое давление (мкПа)	Уровень звука (дБ)
6.000	50
20.000	60
60.000	70
200.000	80
600.000	90
2.000.000	100
6.000.000	110
20.000.000	120

Зависимость уровня звукового давления от подводимой мощности

Слух, как и другие человеческие ощущения, воспринимает воздействие по логарифмическому закону (см. рис. 2.6). Для того чтобы удвоить звуковое давление, не достаточно удваивать число источников звука (или электрическую мощность громкоговорителей), а необходимо удесятерять. Увеличение акустического давления может быть получено установкой нескольких громкоговорителей, расположенных близко друг к другу и ориентированных в одном направлении или при каждом удвоении мощности громкоговорителей, в любом случае, увеличение (или уменьшение) акустического давления будет ± 3 дБ (в дальнейшем мы сформируем более точное правило).

Для построения зависимости уровня звукового давления от подводимой мощности обратимся к теории.

Мгновенное значение звукового давления в точке среды изменяется как со временем, так и при переходе к другим точкам среды, поэтому практический интерес представляет среднеквадратичное значение данной величины, называемое интенсивностью звука:

Интенсивность – это поток энергии в какой-либо точке среды в единицу времени, прошедший через единицу поверхности (1 м^2), являющейся нормалью к направлению распространения звуковой волны, измеряется в Вт/м². Интенсивность иначе называют силой звука.

Интенсивность определяет громкость звука, которую мы слышим. Мы не можем померить ее непосредственно (особенно в закрытых помещениях), поэтому на практике данную величину связывают с мощностью источника логарифмическим соотношением:

$$I = 10 \lg(J/J_0) \quad (2.3)$$

где I – уровень интенсивности звука, дБ;

J – интенсивность исследуемого звука, Вт/м²;

$J_0 = 10^{-12}$ (Вт/м²).

Слуховой аппарат и многие измерительные приборы чувствительны не к самой интенсивности звука, а к среднему квадрату звукового давления, поэтому на практике используется не интенсивность, а величина называемая уровень звукового давления (SPL), которую принято связывать с мощностью источника звука в Вт.

$$P \text{ дБ} = 10 \lg(P \text{ Вт} / P_{\text{оп}}) \quad (2.4)$$

где $P \text{ дБ}$ – зависимость уровня звукового давления, дБ, от мощности источника звука, Вт;

$P \text{ Вт}$ – мощность источника звука, Вт;

$P_{\text{оп}}$ – опорное значение мощности, Вт.

На практике значение $P_{\text{оп}}$ принимают равным 1 Вт, следовательно, формулу 2.4 можно переписать:

$$P \text{ дБ} = 10 \lg(P \text{ Вт}) \quad (2.5)$$

Данная формула очень актуальна и на техническом сленге называется “пересчет ватт в децибелы”.

Графически данная зависимость представлена на рис.2.6.

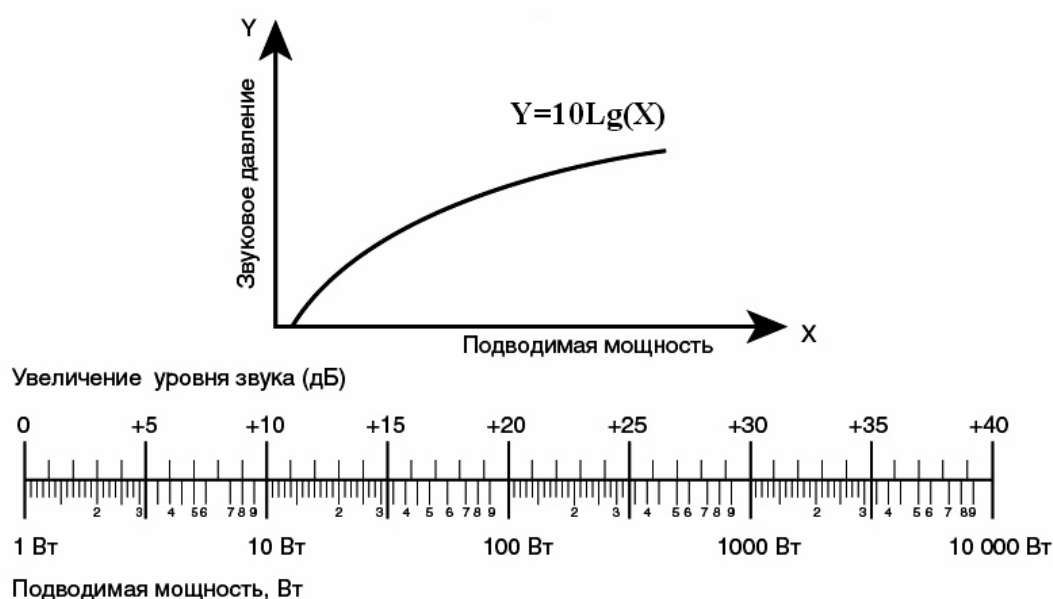


Рис. 2.6 Зависимость изменения звукового давления от мощности

Интерпретацию данной зависимости называют “правилом трех децибел”:

Каждое удвоение мощности источника звука (громкоговорителя), увеличивает его звуковое давление на 3дБ!

Зависимость звукового давления от расстояния

По мере удаления расчетной точки (слушателя) от звукового источника, звуковое давление в этой точке, уменьшается по логарифмическому закону. График зависимости звукового давления от расстояния изображен на рис. 2.7.

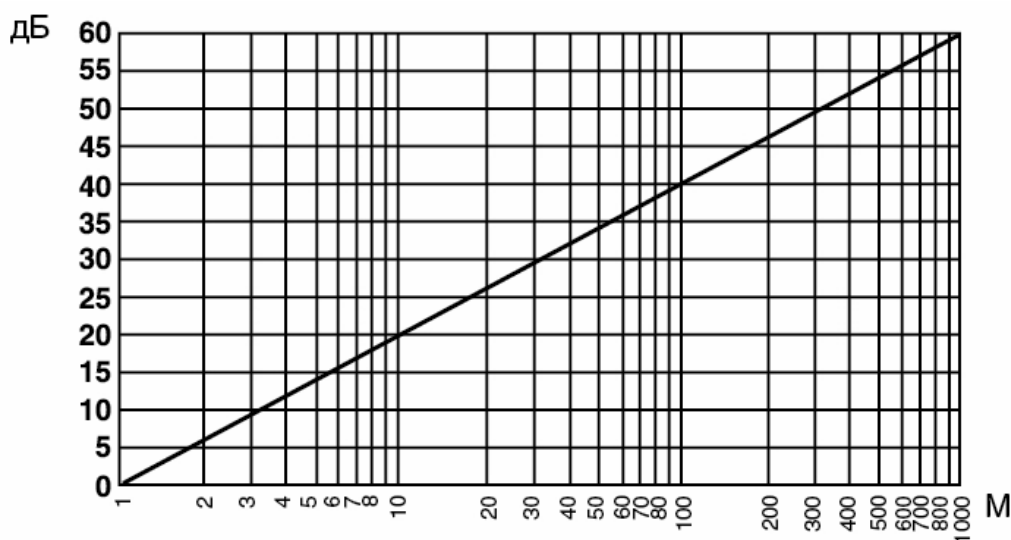


Рис. 2.7 Зависимость звукового давления от расстояния.

Запишем данную зависимость в виде формулы:

$$P = 20 \lg (L) \quad (2.6)$$

где P – звуковое давление, дБ;

L – расстояние от источника звука до расчетной точки, м.

Интерпретацию данной зависимости называют правилом шести децибел:

При каждом удвоении удаления от источника звука (громкоговорителя), звуковое давление уменьшается на 6дБ!

2.5. Основные этапы электроакустического расчета

Теория расчета

Акустика как наука является чрезвычайно сложной и активно развивающейся отраслью. Можно выделить 3 основных теории, активно применяемые для акустических расчетов. Это статистическая теория, в которой акустические процессы в помещении рассматриваются как постепенный спад энергии волн, многократно отраженных преградами помещения. Волновая теория, в которой, в отличие от статистической теории, сутью реверберации являются не многократные отражения, а постепенно затухающие собственные колебания объемного резонатора, не зависящие от внешних влияний. В этом случае под воздушным резонатором следует понимать собственное колебание воздушного объема с частотами, зависящими от размеров и формы помещения. И собственно та, которой мы и будем пользоваться:

Геометрическая (лучевая) теория акустических процессов (в помещениях) основана на законах геометрической оптики. В данной теории движение звуковых волн рассматривают подобно движению световых лучей. В соответствии с законами геометрической оптики при отражении от зеркальных поверхностей угол отражения равен углу падения, и падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости. Это справедливо, если размеры отражающих поверхностей много больше длины волны, а размеры неровностей поверхностей много меньше длины волны. Характер отражения зависит от формы отражающей поверхности. При отражении от плоской поверхности возникает мнимый источник, место которого ощущается на слух подобно тому, как глаз видит мнимый источник света в зеркале. Отражение от вогнутой поверхности приводит к фокусировке лучей. Выпуклые поверхности (колонны, пилястры, крупные лепные украшения, люстры) рассеивают звук.

Принятые допущения

1 этап: До момента излучения звуковой энергии (звука). На данном этапе мы будем рассматривать акустическую систему не как независимый резонатор, а как часть электроакустической системы, входными параметрами которой являются:

SPL – чувствительность громкоговорителя, дБ;

P Вт – электрическая номинальная мощность громкоговорителя;

ШДН – ширина диаграммы направленности громкоговорителя;

УН – угол наклона настенного громкоговорителя к полу;

Н – высота установки громкоговорителя;

N – уровень шума в помещении;

S_n – площадь защищаемого (озвучиваемого) помещения.

2 этап: После излучения звуковой энергии (звука). На данном этапе мы будем использовать методы, используемые в геометрической (лучевой) теории.

Для простоты расчета мы ограничимся не более чем одним отражением звукового сигнала от пола или от стены, что позволит существенно упростить расчетную часть и получить хорошие приближения для среднестатистических объектов. Для объектов сложной архитектуры, театров, концертных залов следует использовать другие методы.

В процессе электроакустического расчета будем решать следующие задачи:

1) Определение уровня звукового давления (уровня звука) в расчетных точках (во всех местах постоянного или временного пребывания людей).

2) Расчет количества громкоговорителей, обеспечивающего выполнение нормативных требований.

3) Выбор и расстановка громкоговорителей, обеспечивающая выполнение нормативных требований (подпункты 2, 3 будут рассмотрены в 3, 4 главах данного пособия).

Определение уровня звукового давления в расчетной точке

Рассмотрим расчетную точку (P), находящуюся в наиболее критическом (в геометрическом смысле) месте защищаемого помещения, см. рис 2.8.

Определим местоположение расчетной точки:

1) удостоверимся, что точка P попадает во внутреннюю область угла раскрыва (в область диаграммы направленности громкоговорителя);

2) определим расстояние (L) от громкоговорителя до расчетной точки (P).

Оба условия легко проверить, если рассмотреть рис. 2.8 сбоку и сверху, см. рис. 2.9, 2.10.

На данном этапе примем, что условие 1 выполняется (априори). Критерии попадания расчетной точки (P) внутрь области ограниченной шириной диаграммы громкоговорителя ($ШДН$), получают однозначное разреше-

ние, при рассмотрении вопросов связанных с определением эффективных озвучиваемых площадей.

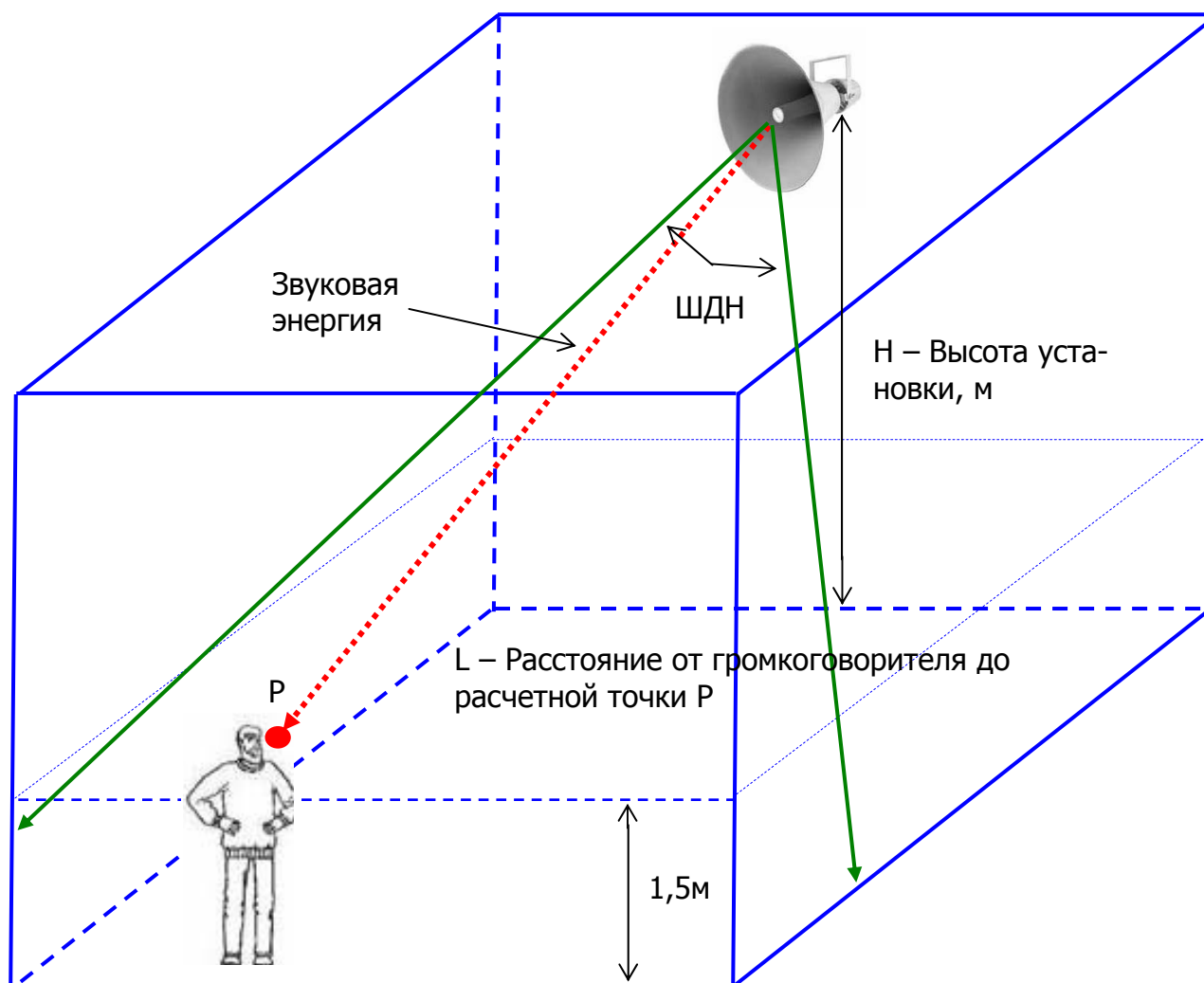


Рис. 2.8 Местоположение расчетной точки P

Для определения значения (L), обратимся к дополнительным графическим представлениям, рассмотрим рисунок 2.8 сбоку (рис. 2.9).

Пусть точка P , располагается на высоте 1,5м.

Значение L_1 проще всего вычислить по теореме Пифагора:

$$L_1 = \sqrt{R_1^2 + (H - 1,5)^2} \quad (2.7)$$

где H – высота установки громкоговорителя, м;

R_1 – длина нормали от расчетной точки (P) к стене (с установленным громкоговорителем), м;

1,5 – расстояние от пола, до плоскости проведенной параллельно полу.

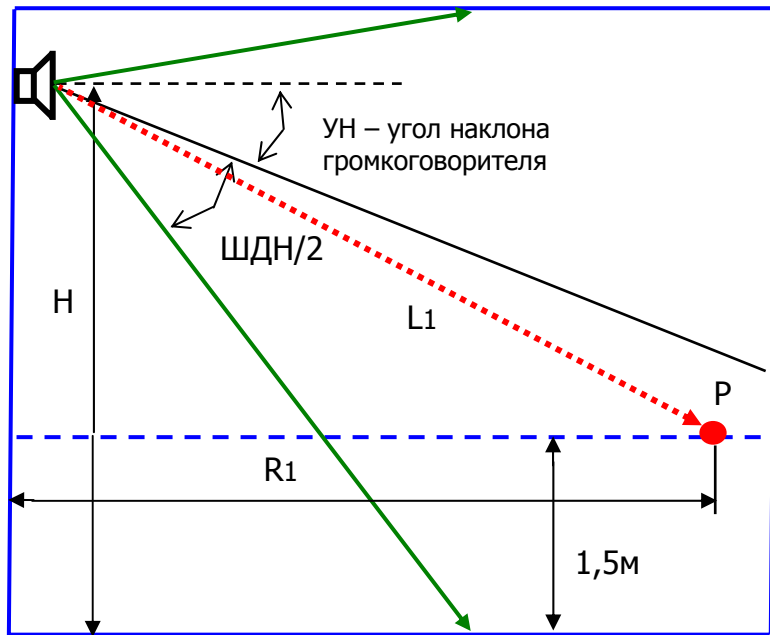


Рис. 2.9 Местоположение расчетной критической точки
(вид помещения сбоку).

Рассмотрим рис. 2.8 сверху (см. рис. 2.10).

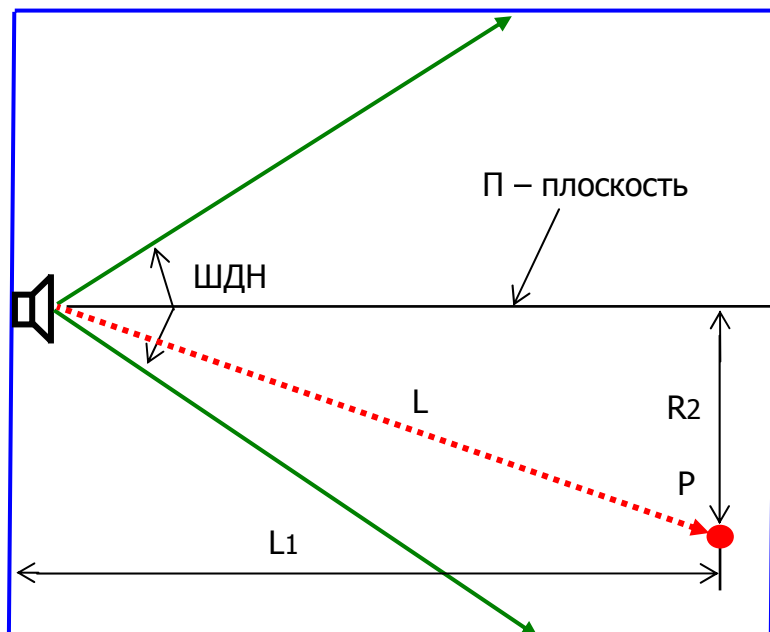


Рис. 2.10 Местоположение расчетной критической точки
(вид помещения сверху).

Из рисунка 2.10 видно:

L_1 – уже найдено (см. формулу 2.7);

Π – плоскость являющаяся нормалью к полу и стене, на которой установлен громкоговоритель (на данном рисунке громкоговоритель коллинеарен с плоскостью Π).

Для нахождения расстояние L , еще раз применим теорему Пифагора:

$$L = \sqrt{(R_2^2 + L_1^2)} \quad (2.8)$$

где R_2 – длина нормали проведенной от точки (P) до плоскости (Π), м.

Подставим значение L_1 из формулы 2.7. в формулу 2.8 и перепишем результат:

$$L = \sqrt{(R_1^2 + R_2^2 + (H - 1,5)^2)} \quad (2.9)$$

где L – искомое расстояние от громкоговорителя до расчетной точки (P).

Выберем громкоговоритель и определим его звуковое давление.

Звуковое давление громкоговорителя складывается из его чувствительности (SPL , дБ) и звукового давления ($P_{дБ}$), соответствующего его номинальной электрической мощности ($P_{Вт}$). Используя формулу 2.5, получим:

$$P_0 = SPL + 10 \lg (P \text{ Вт}) \quad (2.10)$$

где SPL – чувствительность громкоговорителя, дБ.

Величина P_0 согласно нормативным документам должна лежать в следующих пределах:

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.

Если рассчитанное значение P_0 не соответствует данным требованиям, следует выбрать громкоговоритель с большим звуковым давлением или с большей электрической мощностью.

Зная звуковое давление источника звука (P_0), можно определить звуковое давление в расчетной точке (P_1), находящейся на расстоянии L от этого источника (см. формулу 2.6):

$$P_1 = P_0 - 20 \lg (L) \quad (2.11)$$

Проверим выполнение условия:

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.

$$P_1 > N + 15 \quad (2.12)$$

где N – уровень шума в защищаемом помещении (на месте установки громкоговорителя), дБ;

15 – запас звукового давления, дБ.

Из 2.11 и 2.12 можно получить критерий определения звукового давления источника звука (громкоговорителя), находящегося на расстоянии L от расчетной точки, при заданном уровне шума:

$$P_0 \geq N + 15 + 20 \lg(L) \quad (2.13)$$

Пример использования данной формулы, будет дан в конце 4 главы.

Верхняя граница для P_0 , определяется нормативными требованиями:

$$P_0 \leq P_{max}$$

где P_{max} – максимально допустимый уровень звука (120дБ).

Учет отражений

В закрытых помещениях необходимо учитывать отражения звука от различных поверхностей.

Наиболее просто и эффективно данную задачу решает геометрическая (лучевая) теория.

Напомним её основные положения и примем их в качестве аксиом:

- 1) Звуковая энергия отождествляется с геометрическими лучами, которые подобно световым, отражаются от поверхности.
- 2) В качестве препятствий учитываются поверхности, ширина которых более 5м;
- 3) Угол падения (лучей) равен углу отражения;
- 4) При отражении звуковой волны от препятствий (стен, пола) не происходит изменения фазы сигнала.

Каждый материал по-разному поглощает звуки различной частоты. Насколько сильно материал поглощает звук, определяется коэффициентом поглощения и приводится в готовых таблицах.

Таблица 2.3

Коэффициенты поглощения различных материалов

Материал / Частоты	128 Гц	256 Гц	512 Гц	1024 Гц	2048 Гц	4096 Гц
Бетон	0,010	0,012	0,016	0,019	0,023	0,035
Кирпичная стена	0,024	0,025	0,031	0,042	0,049	0,07
Штукатурка	0,020	0,024	0,034	0,03	0,028	0,043
Деревянная обшивка	0,098	0,11	0,1	0,081	0,082	0,11
Драпировка со складками	0,07	0,37	0,49	0,81	0,66	0,54
Войлок (2,5 см)	0,09	0,34	0,55	0,66	0,52	0,39
Зрители в зале или посетители выставки	-----	0,96	---	----	---	
Открытое окно	-----	1,00	---	----	---	

В таблице 2.3 показаны некоторые материалы и их коэффициенты поглощения на разных частотах. Нас будет интересовать наибольшее значение поглощения, которое происходит при частоте 4096 Гц (близка к верхней нормативной частоте – 5кГц). Например, для штукатурки коэффициент поглощения на частоте 4096 Гц равен 0,043.

Для перехода к коэффициенту отражения достаточно воспользоваться соотношением:

$$K_{\text{отр}} = 1 - K_{\text{погл}} \quad (2.14)$$

где $K_{\text{погл}}$ – берется из таблицы, для худшего случая.

Для того, чтобы узнать какая часть энергии будет поглощена, необходимо перейти к децибелам:

$$P_{\text{погл}} = 10 \lg(1 - K_{\text{погл}}) \quad (2.15)$$

Например:

Для кирпичной стены

$$K_{\text{погл}} = 0,07, K_{\text{отр}} = 1 - K_{\text{погл}} = 1 - 0,07 = 0,93, P_{\text{погл}} = 10 \lg(0,93) = -0,32 \text{ дБ}.$$

Другими словами уровень звука после отражения от кирпичной стены уменьшится на 0,3 дБ.

Рассчитаем, каким должен быть коэффициент поглощения для обеспечения точности расчетов ± 1 дБ:

$$P_{\text{погл}} = 10 \lg K_{\text{отр}} = 1, K_{\text{отр}} = 1/10^{0,1} = 0,8, K_{\text{погл}} = 1 - 0,8 = 0,2.$$

Коэффициенты поглощения большинства материалов не превышают значения “0,2”, следовательно, для обеспечения точности расчетов $\pm 1\%$ данным коэффициентом (для данных материалов) можно пренебречь.

Пример:

На рис. 2.11 изображена ситуация в которой звук до слушателя поступает 2-мя путями, напрямую от громкоговорителя и будучи отраженным от пола.

Введем следующее допущение: Если излучаемая громкоговорителем звуковая волна, находится в пределах его *ШДН*, то для расчета звукового давления в расчетной точке (*P*), мы используем формулу 2.11, если нет, то уровень звукового давления в точке (*P*), с учетом одного отражения можно рассчитать как:

$$P_1 = P_0 - 20 \lg(L_1) - 20 \lg(L_2) \quad (2.16)$$

где L_1 – расстояние от громкоговорителя, до пола, м;

L_2 – расстояние от пола, до слушателя, м.

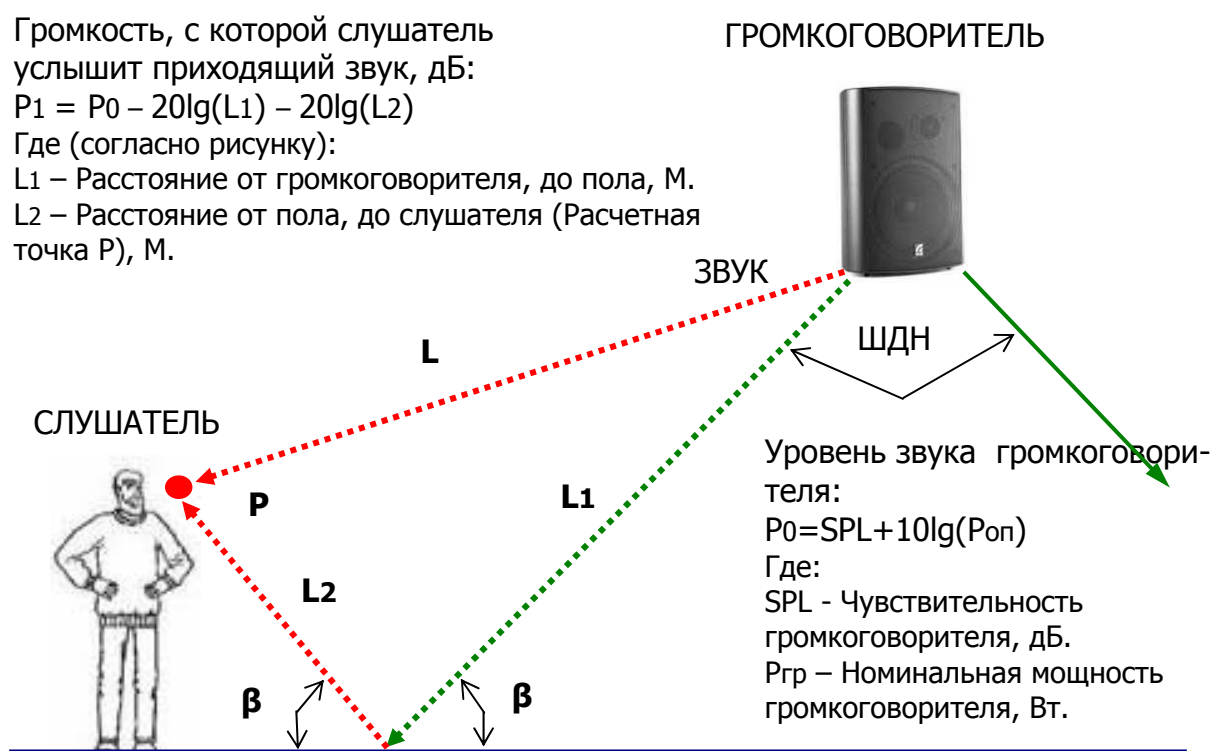


Рис. 2.11 Учет отражений при расчете звукового давления

Обобщим полученный результат в виде алгоритма.

ПРИМЕЧАНИЕ: Алгоритм – это последовательность каких либо операций, целью которого является решение той или иной задачи. Ценность алгоритма определяется оптимальностью решения этой задачи. Алгоритм в отличие от методики (более конкретной), может быть обобщенным (универсальным).

Алгоритм № 2.1

Определение звукового давления в расчетной точке

- 1) Определим местоположение расчетной точки P (рис. 2.6).
- 2) Рассчитаем расстояние L от громкоговорителя, до точки P (формула 2.7).
- 3) Определим уровень шума в помещении (см. Приложение 1).
- 4) Выберем громкоговоритель и рассчитаем его звуковое давление (формула 2.10).
- 5) Определим звуковое давление в расчетной точке (формула 2.11).
- 6) Проверим выполнение условия (формула 2.12).
- 7) Если условие 2.12 не выполняется, возвращаемся к пункту 4, для выбора более мощного громкоговорителя.

Учебное издание

Олег Владимирович Кочнов

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ

Учебное пособие

Издание печатается в авторской редакции

Выпускающий редактор

А.М. Коськин

Издательство «Стерх» ИП Коськин А.М.

Лиц. изд. ИД № 06366.

Подписано в печать 31.10.2012. Формат 60х84/16.

Бумага для множит. техники. Гарнитура Times. Заказ № 28.

Усл. печ. л. 8,95. Уч.-изд. л. 6,58. Тираж 100 экз.

Адрес: 602200, Владимирская область,
г. Муром, ул. Муромская д. 3 кв.19.

sterx06366@rambler.ru