

О. В. Кочнев,
заместитель генерального
директора
компании ESCORT GROUP

109044, Москва, ул. Мельникова, д. 7, оф. 32,
8 (495) 937-5341/42, 663-9144(многоканальные),
8 (800) 3333-005 (бесплатный),
info@escortpro.ru, support@escortpro.ru,
www.escortpro.ru



СПЕЦИФИКА РАССТАНОВКИ РЕЧЕВЫХ ОПОВЕЩАТЕЛЕЙ

Цель данной статьи – познакомить проектировщиков, инсталляторов и интеграторов систем оповещения, систем звукового обеспечения, систем громкоговорящей связи с основными принципами и особенностями электроакустического расчета. Основное внимание в данной статье уделено особенностям расстановки речевых оповещателей (громкоговорителей) в закрытых защищаемых помещениях.

Одной из основных задач, решаемых в процессе электроакустического расчета, выполняемого на начальной стадии проектирования систем оповещения о пожаре – СОУЭ является задача выбора и расстановки речевых оповещателей (далее громкоговорителей). Громкоговорители могут устанавливаться как на открытых площадках, так в закрытых (защищаемых) помещениях. Цель данной статьи – предложить и обосновать варианты оптимальной расстановки речевых оповещателей (далее громкоговорителей) в закрытых (защищаемых) помещениях.

В закрытых помещениях рекомендуется устанавливать громкоговорители внутреннего исполнения, как наиболее оптимальные по параметрам и качеству. В зависимости от конфигурации помещения это могут быть потолочные или настенные типы. Грамотная расстановка громкоговорителей позволяет обеспечить равномерное распределение звука в помещении, следовательно, добиться хорошей разборчивости. Если говорить о качестве звучания, то оно будет определяться преимущественно качеством выбранных громкоговорителей. Так, например, при использовании потолочных громкоговорителей необходимо учитывать, что звуковая волна от громкоговорителя распространяется перпендикулярно полу, следовательно, озвучиваемая площадь на высоте ушей слушателей представляет собой круг, радиус которого принимается равным разности высоты установки (крепления) громкоговорителя и расстояния до отметки 1,5 м от пола (согласно нормативной документации). В большинстве задач для расчетов потолочной акустики, звуковые волны отождествляются с геометрическими лучами, при этом диаграмма направленно-

сти (ДН) громкоговорителя определяет параметры (углы) прямоугольного треугольника, следовательно, для расчета радиуса круга (катета треугольника) достаточно теоремы Пифагора. Для равномерного озвучивания помещения громкоговорители следует устанавливать так, чтобы результирующие площади соприкасались или слегка перекрывали друг друга. В самом простом случае необходимое количество громкоговорителей получается из отношения величины озвучиваемой площади к площади, озвучиваемой одним громкоговорителем.

Расстановка громкоговорителей определяется, прежде всего, конфигурацией озвучиваемого помещения. Расстояние между громкоговорителями, или шаг расстановки определяют, исходя из результирующих областей покрытия. При неправильной расстановке, например, превышении шага звуковое поле будет распределяться неравномерно, в некоторых областях будут наблюдаться провалы, ухудшающие восприятие. В случае применения громкоговорителей с большим звуковым давлением возрастает вероятность возникновения реверберационного фона. Чтобы компенсировать этот эффект, звукоотражающие поверхности помещения покрывают звукопоглощающими материалами. В помещениях с высокими потолками рекомендуется использовать подвесные или настенные громкоговорители, повышающие плотность расстановки и минимизирующие вероятность возникновения паразитного эха.

Одним из основных параметров, который необходимо определить в расчетах, является Шаг расстановки цепочки громкоговорителей. Он будет определяться размерами помещения, высотой установ-

ки громкоговорителей и их диаграммой направленности (ШДН).

Приведем несколько простых рекомендаций.

- При расстановке настенных громкоговорителей в коридорах вдоль одной стены рекомендуемый шаг расстановки:

$$\begin{aligned} & \text{(Шаг расстановки, м)} = \\ & \text{(Ширина коридора, м)} \times 2 \\ & \text{без учета отражений от стен,} \\ & \text{(Шаг расстановки, м)} = \\ & \text{(Ширина коридора, м)} \times 4 \\ & \text{с учетом отражений от стен.} \end{aligned}$$

- При расстановке настенных громкоговорителей в прямоугольных помещениях по двум стенам в шахматном порядке шаг расстановки:

$$\begin{aligned} & \text{(Шаг расстановки, м)} = \\ & \text{(Ширина помещения, м)} \times 2 \end{aligned}$$

- При встречной расстановке настенных громкоговорителей в прямоугольных помещениях по двум стенам шаг расстановки:

$$\begin{aligned} & \text{(Шаг расстановки, м)} = \\ & \text{(Половина ширины помещения, м)} \times 2 \end{aligned}$$

Основные требования

Приведем основное требование **нормативной документации (НД)**:

Количество звуковых и речевых (громкоговорителей) 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.

Установка громкоговорителей и других речевых оповещателей (громкоговорителей) в защищаемых помещениях должна исключать концентрацию и неравномерное распределение отраженного звука.

Речевые оповещатели (громкоговорители) должны быть расположены та-

ким образом, чтобы в любой точке защищаемого объекта, где требуется оповещение людей о пожаре, обеспечивалась разборчивость передаваемой речевой информации.

Проектирование систем оповещения сопровождается выполнением электроакустического расчета (ЭАР). Следствием грамотного ЭАР является оптимизация – минимизация технических средств, повышение качества восприятия. Качество восприятия, в свою очередь, характеризуется комфортностью звучания для музыкального фона и разборчивостью для речевых сообщений. Критерием правильности ЭАР являются требования нормативной документации (НД) [1], которые условно можно разделить на:

- требования к речевому оповещателю (громкоговорителю);
- требования к уровням звуковых сигналов;
- требования к расстановке речевых оповещателей (громкоговорителей).

Следует заметить, что в НД изложены лишь необходимые (минимальные) требования в то время, как достаточные (максимальные) требования обеспечиваются наличием грамотных методик, а при их отсутствии – грамотностью и ответственностью проектировщика.

Требования к громкоговорителю

В [1] изложены следующие требования: Звуковые оповещатели должны обеспечивать уровень звукового давления такой, чтобы:

Звуковые сигналы СОУЭ обеспечили 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.

В данном пункте содержатся два требования – требование к минимальному и максимальному звуковому давлению.

Минимальное звуковое давление

Громкоговоритель должен обеспечить (минимальный) уровень звукового сигнала на расстоянии 1м от геометрического центра:

$$P_{\text{мин}} = 75 + 20 \log(3) = 84 \text{ дБ}$$

Максимальное звуковое давление

Громкоговоритель должен обеспечить уровень звукового сигнала в расчетной точке (РТ) не превышающий 120 дБ, что может быть записано:

$$(P_{\text{дб}} - 20 \log(r_1)) < 120 \text{ дБ} \quad (1),$$

где – уровень звукового давления, развиваемый громкоговорителем на номинальной мощности, дБ;

r_1 – расстояние от громкоговорителя до ближайшего слушателя.

Дадим определение расчетной точки [2]:

Расчетная точка (РТ) – место возможного (вероятного) нахождения людей наиболее критичное с точки зрения положения и удаления от звукового источника (громкоговорителя). РТ выбирается на расчетной плоскости – (мнимой) плоскости, проведенной параллельно полу на высоте 1,5м.

Требование к уровням звуковых сигналов

Основное требование к (необходимому) уровню звукового сигнала изложено в НД [1]:

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 расстановке

Основное требование к расстановке громкоговорителей изложено в НД [1]:

Установка громкоговорителей и других речевых оповещателей (громкоговорителей) в защищаемых помещениях должна исключать концентрацию и неравномерное распределение отраженного звука.

Речевые оповещатели (громкоговорители) должны быть расположены таким образом, чтобы в любой точке защищаемого объекта, где требуется оповещение людей о пожаре, обеспечивалась разборчивость передаваемой речевой информации.

Учет основных характеристик громкоговорителей

Согласно [2], Расстановка громкоговорителей является частью организационных мероприятий, выполняемых при проектировании СОУЭ и называемых электроакустическим расчетом. Наиболее актуальной является не просто расстановка, а оптимальная расстановка громкоговорителей, позволяющая минимизировать количество расчетных ресурсов (времени) и материальных средств.

Способы расстановки громкоговорителей тесно связаны с их конструктивными особенностями. Наиболее обобщенной является следующая классификация:

- по исполнению;
- по конструктивным особенностям;
- по характеристикам;
- по способу согласования с усилителем.

Учет типа и конструктивных особенностей громкоговорителей

По исполнению громкоговорители можно разделить на внутренние и внеш-

ние. Характерным признаком внутреннего исполнения является класс защиты IP. Для громкоговорителей внутреннего исполнения достаточно IP-41, для внешнего – не ниже IP-54. Для помещений, прежде всего в целях экономии, используются громкоговорители внутреннего исполнения.

В зависимости от решаемых задач могут использоваться громкоговорители различного конструктивного исполнения. Так, например, в зависимости от конфигурации помещения могут применяться громкоговорители потолочного или настенного исполнения. Для озвучивания открытых площадок используются рупорные громкоговорители, благодаря таким их характеристикам, класс защиты, высокая степень направленности звука, высокий КПД.

Специфика учета основных параметров громкоговорителей

Для осуществления грамотной расстановки громкоговорителей нам понадобятся следующие характеристики (основные параметры) громкоговорителя:

P_0 – чувствительность громкоговорителя, дБ.

$P_{\text{вт}}$ – мощность громкоговорителя, Вт.

ШДН – ширина диаграммы направленности громкоговорителя, град.

Расчет звукового давления громкоговорителя

Громкость громкоговорителя нельзя измерить непосредственно, поэтому на практике ее выражают через уровни звукового давления, измеряемые в децибелах, дБ.

Звуковое давление громкоговорителя определяется как его чувствительностью, так и электрической мощностью, подведенной к его входу:

$$P_{\text{дб}} = P_0 + 10 \log P_{\text{вт}} \quad (2),$$

где P_0 – чувствительность громкоговорителя, дБ;

$P_{\text{вт}}$ – мощность громкоговорителя, Вт.

Чувствительность громкоговорителя

P_0 , дБ – уровень звукового давления, измеренного на рабочей оси громкоговорителя, на расстоянии 1м от рабочего центра на частоте 1кГц при мощности 1Вт.

Мощность громкоговорителя

Существует несколько основных видов мощностей:

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

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.

Синусоидальная мощность – максимальная синусоидальная мощность, при которой громкоговоритель должен проработать в течение 1 часа с реальным музыкальным сигналом без получения физических повреждений (ср. максимальная синусоидальная мощность).

В общем случае в качестве параметра мощности необходимо использовать значение, указанное производителем громкоговорителя.

Звуковое давление громкоговорителя рекомендуется рассчитывать в зависимости от мощности включения громкоговорителя.

Основные расчеты

Уменьшение звукового давления в зависимости от расстояния

Для расчета уровня звукового давления в расчетной точке остается определить еще один важный параметр – величину уменьшения звукового давления в зависимости от расстояния – дивергенции, P_{20} , дБ. В зависимости от того, где устанавливается громкоговоритель – во внутренних помещениях или на открытых площадках, используются различные формулы (подходы).

В случае установки громкоговорителя во внутренних помещениях:

$$P_{20} = 20 \log(r) \quad (3)$$

где r – расстояние от источника звука (громкоговорителя) до РТ, м.

Расчет уровня звукового давления в РТ зная параметры громкоговорителя – его чувствительность P_0 , дБ, подводимую звуковую мощность $P_{вт}$, Вт, и расстояние до РТ, r , м, вычислим уровень звукового давления L_1 , дБ, развиваемого им в РТ:

$$L_1 = P_0 + 10 \log P_{вт} - 20 \log(r) \quad (4)$$

Звуковое давление в РТ при одновременной работе n громкоговорителей:

$$L = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \quad (5)$$

где L_i – звуковое давление, развиваемое i -м громкоговорителем.

Расчет эффективной дальности

Эффективная дальность звучания громкоговорителя – расстояние от громкоговорителя до точки, в которой звуковое давление, не превышает значения (УШ+15) дБ:

Эффективную дальность звучания (громкоговорителя) D , м, можно рассчитать:

$$D = 10^{1/20 (P_{дб} - УШ + ЗД)} \quad (6)$$

где, $P_{дб}$ – звуковое давление, развиваемое громкоговорителем при подведении к нему определенной мощности, дБ; УШ – уровень шума в защищаемом помещении, дБ; ЗД – запас звукового давления (по нормативной документации – 15 дБ), дБ; 1 – коэффициент, учитывающий, что чувствительность громкоговорителя определяется на расстоянии 1 м.

Работа с шаблонами

Разобьем все громкоговорители на три основных класса, различающихся по направлению излучения звуковой энергии.

Потолочные – громкоговорители, звуковая энергия которых направлена перпендикулярно расчетной плоскости (полу).

Настенные – громкоговорители, звуковая энергия которых параллельна расчетной плоскости (полу).

Рупорные – громкоговорители, звуковая энергия которых направлена под некоторым углом к расчетной плоскости (полу).

Под шаблонами будем понимать геометрическую область, являющуюся проекцией звукового поля громкоговорителя на расчетную плоскость.

Для потолочных громкоговорителей – *круг*;

Для настенных – *сектор*;

Для рупорных – *эллипс*.

Громкоговоритель является широкополосным устройством. Для нижней частоты нормативного диапазона $f=200$ Гц, громкоговоритель можно рассматривать как звуковой излучатель сферической волны. С увеличением частоты ДН громкоговорителя начинает сужаться и концентрироваться внутри шарового конуса с углом раскрытия, определяемым величиной ШДН. Данное представление не вполне соответствует устоявшейся практике, согласно которой звуковое поле на выходе громкоговорителя принято аппроксимировать полуэллипсом. В [2] показано, что для (среднестатистической) ШДН=90° количественные оценки для конуса и эллипса совпадают.

Оценку эффективной площади, озвучиваемой громкоговорителями различных типов, можно связать с задачей нахождения площади, образуемой пересечением данного шарового конуса с рабочей плоскостью. Воспользуемся известным геометрическим представлением, согласно которому результатом пересечения плоскости и конуса под различными углами являются различные эллиптические поверхности – гипербола, парабола, эллипс и круг (рис. 1).

Гипербола получается в результате пересечения конуса и плоскости, пересекающей одну из его образующих.

Парабола получается в результате пересечения конуса и плоскости, параллельной одной из его образующих.

Эллипс получается в результате пересечения конуса и плоскости, пересекающей обе его образующие.

Круг получается в результате пересечения конуса и плоскости, параллельной его основанию.

Определение 1

Эффективная площадь, озвучиваемая громкоговорителем, – область на рабочей плоскости, в пределах которой звуковое давление остается в границах, определяемых диаграммой направленности громкоговорителя.

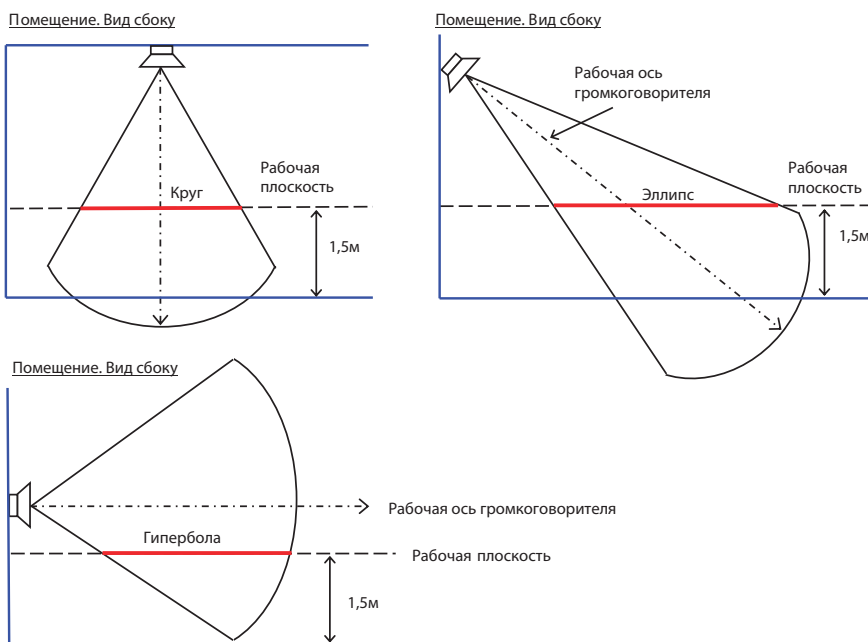


Рис. 1. Результат пересечения шарового сектора с рабочей плоскостью

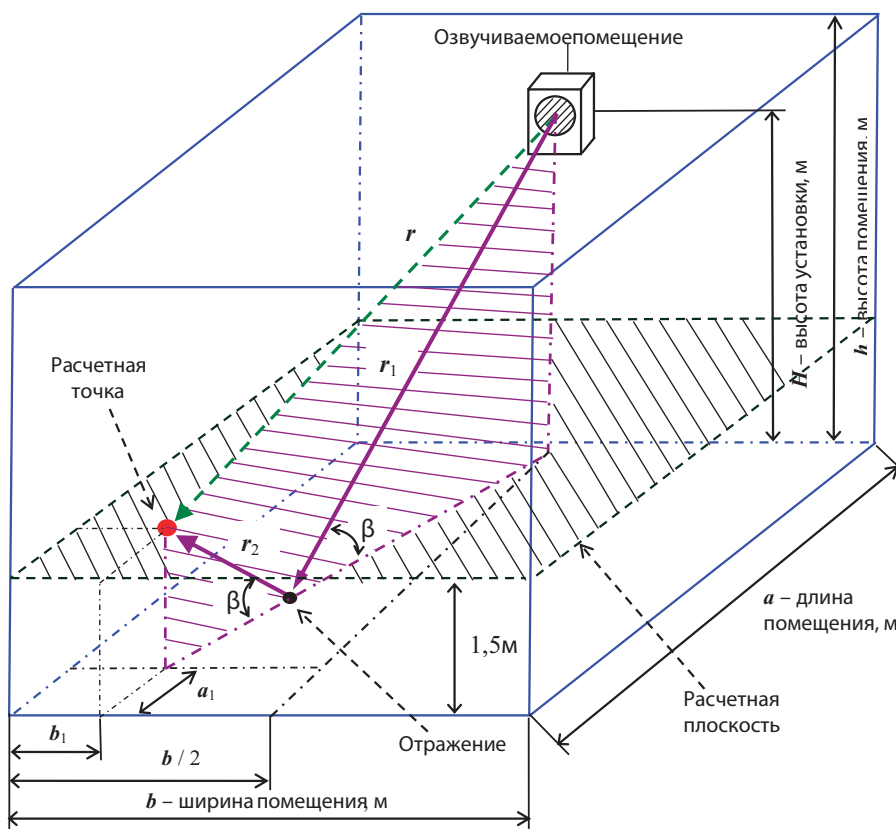


Рис. 2. Отражение звуковой энергии

Рассчитаем эффективные площади, озвучиваемые различными типами громкоговорителей.

Расстановка громкоговорителей

Задачу оптимальной расстановки громкоговорителей можно связать с результатами, полученными в предыдущей главе. Дадим определение.

Определение 2

Расстановку громкоговорителей необходимо осуществлять таким образом, чтобы любая потенциальная расчетная точка обязательно попадала в пределы, охватываемые диаграммой направленности ближайшего громкоговорителя.

В предыдущем разделе мы получили три основные геометрические фигуры – круг, сектор и эллипс. Задачу расстановки можно свести к равномерному покрытию всей рабочей плоскости.

Учет отражений

На практике расстановку громкоговорителей осуществляют с учетом отражений от поверхностей.

Учет отражений будем осуществлять, опираясь на геометрическо-лучевую теорию, в которой звуковая энергия отражается с геометрическим лучом, отражающимся от поверхности под тем же углом и в той же плоскости, рис. 2.

При столкновении с поверхностью часть звуковой энергии теряется. Долю поглощенной звуковой энергии, можно определить, зная коэффициент поглощения поверхности:

$$P_{\text{полг}} = -10 \log(1 - K_{\text{полг}}) \quad (7)$$

При учете отражений необходимо проверить следующее граничное условие, рис. 2:

$$D > r_1 + r_2 + 10^{P_{\text{полг}}/20} \quad (8)$$

где D – эффективная дальность, м, ф-ла (6); r_1 – расстояние от громкоговорителя до отражающей поверхности, м;

r_2 – расстояние от отражающей поверхности до РТ, м;

$P_{\text{полг}}$ – доля поглощенной энергии, дБ, ф-ла (7).

При выполнении условия (8) расстановку громкоговорителей можно осуществлять с учетом отражений.

Большинство поверхностей таких, как паркет, ламинат, дерево, бетон практически не поглощают. В дальнейших примерах расстановки громкоговорителей в качестве упрощения примем, что звуковая энергия от поверхности отражается полностью.

Критический Шаг расстановки громкоговорителей

Громкоговорители нельзя удалять друг от друга на большое расстояние, так как в этом случае возникает неблагоприятный эффект, называемый эхо, существенно ухудшающий восприятие речевой информации. Эхо начинает проявляться при задержке между прямым и запаздывающим звуком более, чем на 50 мс. Определим максимально допустимый шаг расстановки Ш, м, при котором этот эффект не проявится, рис. 3.

Из рис. 3 видно, что звук в РТ поступает от 2-х громкоговорителей. Зная скорость звука в воздухе $v=340\text{ м/с}$ и время задержки $t=0,05\text{ с}$, легко получить критическое расстояние $R_{\text{кр}}$, м, при котором эхо становится возможным: $R_{\text{кр}} = vt = 340 \cdot 0,05 = 17\text{ м}$, где v – скорость распространения звука в воздухе (340 м/с).

Из рис. 3, разность хода должна быть: $(r_2 - r_1) \leq 17\text{ м}$

где r_1 – расстояние от ближнего громкоговорителя до РТ, м;

r_2 – расстояние от дальнего громкоговорителя до РТ, м.

В зависимости от направленности громкоговорителей и их ШДН, шаг расстановки можно определить геометрически:

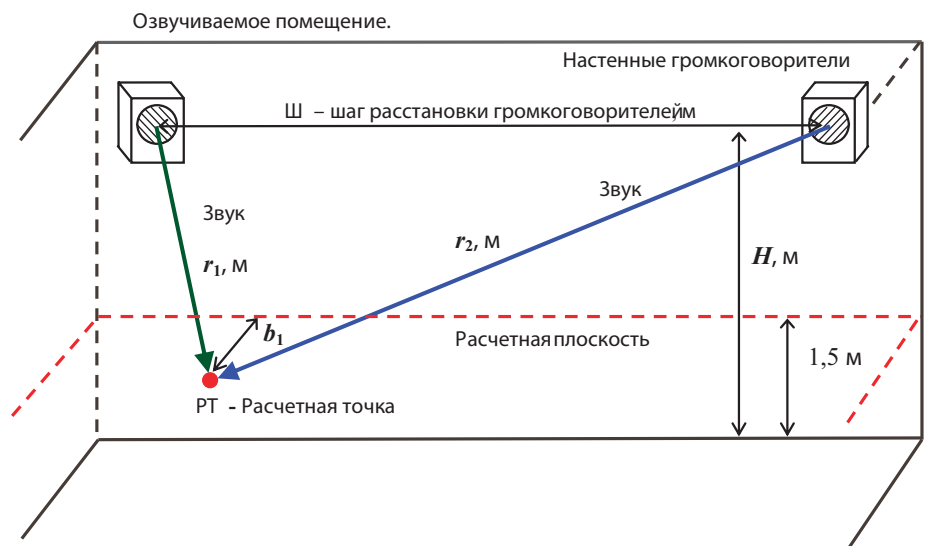


Рис. 3. Шаг расстановки, при котором возможно эхо

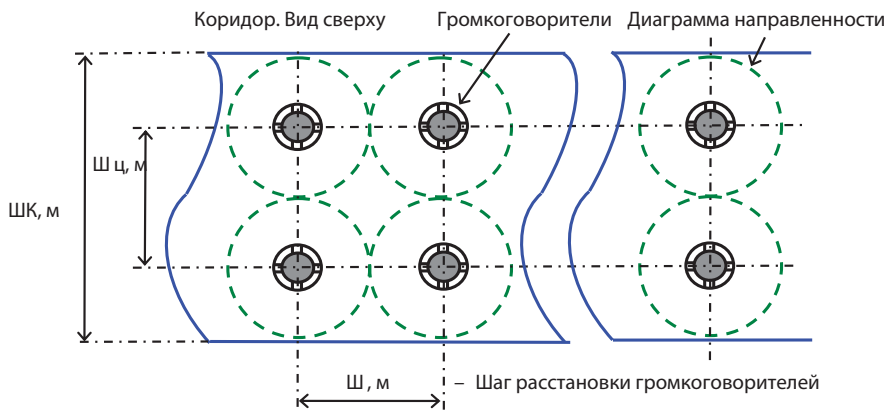


Рис. 4. Пример расстановки потолочных громкоговорителей в широких коридорах

$$\text{Ш} = \sqrt{r_1^2 - (H-1,5)^2 - b_1^2} + \sqrt{r_2^2 - (H-1,5)^2 - b_1^2} \quad (9)$$

Классификация помещений

Будем рассматривать два основных типа помещений:

- коридоры;
- прямоугольные помещения.

Под коридорами будем понимать узкие протяженные помещения с соотношениями длины, a , м, и ширины, b , м: $a/b \geq 4$.

Помещения с соотношениями $a/b < 4$ будем считать прямоугольными.

Разобьем помещения на следующие группы:

- коридоры с низкими потолками (высотой $h \leq 4$ м);
- коридоры с высокими ($h > 4$ м) потолками;
- коридоры узкие ($b \leq 3$ м);
- коридоры широкие ($b > 3$ м и $h \leq 6$ м);
- средние прямоугольные помещения ($b > 6$ м и $b \leq 12$ м).
- объемные прямоугольные помещения ($b > 12$ м).

Для определения численного значения предлагаемых коэффициентов (b , h) было использовано усредненное значение эффективной дальности звучания, D ,

м, которое для $P_{\text{дб}}=95$ дБ, $УШ=60$ дБ, будет составлять ~ 10 м и $ШДН=90^\circ$.

Способ расстановки громкоговорителей с учетом отражений или без них определяется двумя факторами:

- высотой потолков. При высоких потолках эффект отражения можно не учитывать;
- типом отражающей поверхности.

Коридоры с низкими или высокими потолками

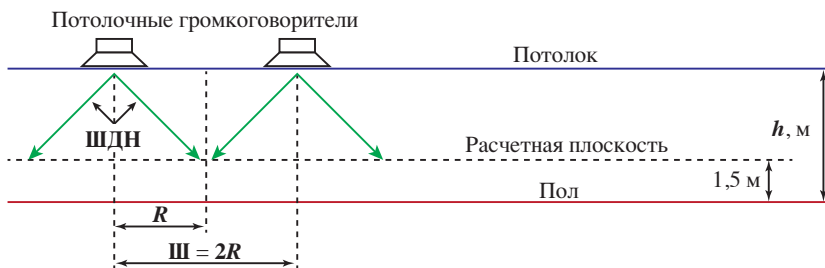
Понятия «низкие/высокие» потолки будем рассматривать относительно способов размещения потолочных громкоговорителей.

При размещении громкоговорителей на низких потолках желательно учитывать и отражения от пола. В этом случае, для определения численного значения шага расстановки громкоговорителей используется следующий критерий:

Звуковая энергия, излучаемая потолочным громкоговорителем, должна «добить» до пола и, отразившись от него, до «расчетной плоскости».

При размещении громкоговорителей на высоких потолках отражения от пола можно не учитывать или обязательно проверять критерий (8).

Коридор. Вид сбоку



$ШДН$ – ширина диаграммы направленности, град
 $Ш$ – шаг расстановки громкоговорителей, м
 R – радиус окружности, м

Рис. 5. Расстановка потолочных громкоговорителей в коридорах с высокими потолками без учета отражений от пола

Узкие или широкие коридоры

Понятие «узкие/широкие» коридоры будем рассматривать относительно способов размещения как потолочных, так и настенных громкоговорителей. В обоих случаях нам придется учитывать отражения от пола или стен.

Для настенных громкоговорителей

Для определения численного значения шага расстановки настенных громкоговорителей в случае учета отражений будем использовать следующий критерий:

Звуковая энергия, излучаемая настенным громкоговорителем, должна «добить» до противоположной стены и, отразившись от нее, до стены, на которой громкоговоритель установлен.

При размещении громкоговорителей в широких коридорах отражения от стен можно не учитывать или обязательно проверять критерий (8).

Для потолочных громкоговорителей

Для разъяснения смысла узкие/широкие коридоры в случае применения потолочных громкоговорителей рассмотрим понятие цепочка громкоговорителей.

На рис. 4 изображен широкий коридор, в котором установлены две цепочки потолочных громкоговорителей.

Количество цепочек, K_u , шт, будет определяться из соотношения:

$$K_u = \text{int} \left(\frac{ШК}{Ш} \right) + 1 \quad (10)$$

где $ШК$ – ширина коридора, м; $Ш$ – шаг расстановки громкоговорителей, м; int – результат округления в меньшую сторону.

Рассмотрим примеры размещения громкоговорителей для разных типов помещений (случаев) и условия определения шага расстановки $Ш$, м.

Расстановка потолочных громкоговорителей

Расстановка потолочных громкоговорителей в коридорах с высокими потолками без учета отражений от пола

Расстановку потолочных громкоговорителей в коридорах с высокими потолками без учета отражений от пола, следует вести с шагом, рис. 5:

$$\text{Ш} = 2R$$

$$R = (h-1,5) \tan \frac{ШДН}{2} \quad (11)$$

где $ШДН$ – ширина диаграммы громкоговорителя, град; h – высота потолков, м.

При $ШДН=90^\circ$, $R=h-1,5$:

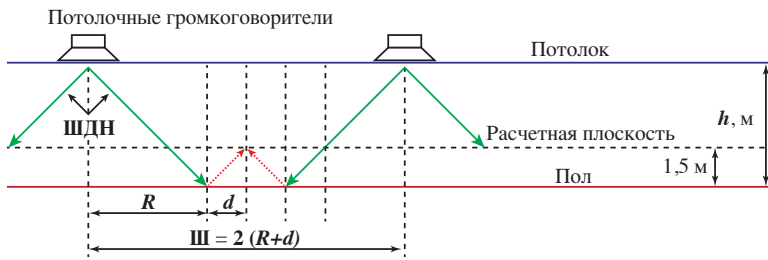
$$\text{Ш} = 2(h-1,5)$$

Проверочное условие 1

Громкоговоритель, с учетом $ШДН$ должен добивать до рабочей плоскости.

Эффективная дальность, для произвольной $ШДН$:

Коридор. Вид сбоку



ШДН – ширина диаграммы направленности, град
Ш – шаг расстановки громкоговорителей, м
R – радиус окружности, м

Рис. 6. Расстановка потолочных громкоговорителей в коридорах с низкими потолками или в случае учета отражений

$$D > \frac{(h-1,5)}{\cos \frac{\text{ШДН}}{2}} \quad (12)$$

Для ШДН=90°:
 $D > \sqrt{2}(h-1,5)$

Расстановка потолочных громкоговорителей в коридорах с низкими потолками с учетом отражений от пола

Расстановку потолочных громкоговорителей в коридорах с низкими (менее 4 м) потолками допустимо вести с учетом отражений (от пола) с шагом, рис. 6:

$$\text{Ш} = 2(R+d) \quad (13)$$

$$d = 1,5 \tan \frac{\text{ШДН}}{2} \quad (14)$$

При ШДН=90°:
 $\text{Ш} = 2(h+1,5)$

Проверочное условие 2

Громкоговоритель, с учетом ШДН должен добивать до пола и, отразившись от него, до рабочей плоскости. Эффективная дальность, для произвольной ШДН:

$$D > \frac{(h-1,5)}{\cos \frac{\text{ШДН}}{2}} + 10^{K_{\text{пол}}/20} \quad (15)$$

где $K_{\text{пол}}$ – коэффициент поглощения пола.

Для ШДН=90°, без учета поглощения:
 $D > \sqrt{2}(h+1,5)$

Расстановка настенных громкоговорителей

Использование настенных громкоговорителей позволяет в более широких пределах варьировать диаграммой направленности, формируя акустический дизайн помещений. При расстановке настенных громкоговорителей, мы будем учитывать отражения от стен (для упрощения расчетов, отражения от потолков учитывать не будем).

Расстановка настенных громкоговорителей размещаемых вдоль одной стены, без учета отражений

Расстановку настенных громкоговорителей в (широких, свыше ~3-х м) коридорах, с размещением вдоль одной стены, без учета отражений следует вести с шагом:

$$\text{Ш} = 2R \quad (16)$$

$$R = \text{ШК} \tan \frac{\text{ШДН}}{2}$$

где ШК – ширина коридора, рис. 7.
 При ШДН=90°, $R = \text{ШК}$:
 $\text{Ш} = 2\text{ШК}$

Проверочное условие 3

Громкоговоритель, с учетом ШДН должен добивать до противоположной стены. Эффективная дальность, для произвольной ШДН:

$$D > \frac{\text{ШК}}{\cos \frac{\text{ШДН}}{2}} \quad (17)$$

Для ШДН=90°:

$$D > \sqrt{2}\text{ШК}$$

Запишем критерий определения эффективной дальности, с учетом высоты установки громкоговорителя, Н, м. Для произвольной ШДН:

$$D > \sqrt{\frac{\text{ШК}^2}{\cos \frac{\text{ШДН}}{2}} + (h-1,5)^2} \quad (18)$$

Расстановка настенных громкоговорителей размещаемых вдоль одной стены, с учетом отражений

Расстановку настенных громкоговорителей в (узких, до ~3-х м) коридорах, с размещением вдоль одной стены, с учетом отражений допустимо вести с шагом:

$$\text{Ш} = 4R$$

где, R рассчитывается по ф-ле (16), рис. 8.
 При ШДН=90°, $R = \text{ШК}$:
 $\text{Ш} = 4\text{ШК}$

Проверочное условие 4

Громкоговоритель, с учетом ШДН должен дважды добивать до противоположной стены с учетом ШДН.

Эффективная дальность, для произвольной ШДН:

$$D > \frac{2\text{ШК}}{\cos \frac{\text{ШДН}}{2}} + 10^{K_{\text{ст}}/20} \quad (19)$$

где $K_{\text{ст}}$ – коэффициент поглощения стен.
 Для ШДН=90°, без учета поглощения:
 $D > \sqrt{8}\text{ШК}$

С учетом высоты установки, см. ф-лу (18).

Расстановка настенных громкоговорителей в прямоугольных помещениях, с размещением вдоль двух противоположных стен в шахматном порядке

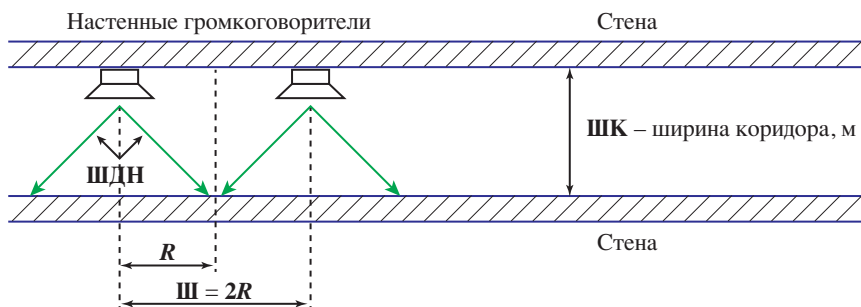
Расстановку настенных громкоговорителей в средних прямоугольных помещениях, с возможностью размещения вдоль двух противоположных стен желательно вести, в шахматном порядке с шагом:

$$\text{Ш} = 2R \quad (20)$$

$$R = b \tan \frac{\text{ШДН}}{2}$$

Где b – ширина помещения, рис. 9.
 При ШДН=90°, $R = b$:

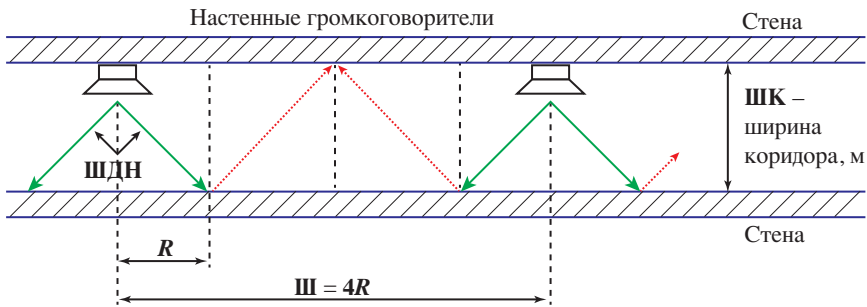
Коридор. Вид сверху



ШДН – ширина диаграммы направленности, град
Ш – шаг расстановки громкоговорителей, м
R – радиус окружности, м

Рис. 7. Расстановка потолочных громкоговорителей в коридорах с низкими потолками или в случае учета отражений

Коридор. Вид сверху



ШДН – ширина диаграммы направленности, град
Ш – шаг расстановки громкоговорителей, м
R – радиус окружности, м

$$Ш=2b$$

Проверочное условие 5

Громкоговоритель, с учетом ШДН должен добивать до противоположной стены. Эффективная дальность, для произвольной ШДН:

$$D > \frac{2b}{\cos \frac{ШДН}{2}} \quad (21)$$

Для ШДН= 90°:

$$D > \sqrt{2}b$$

Учет высоты установки, осуществляется аналогично ф-ле (18).

Расстановка настенных громкоговорителей в прямоугольных помещениях, с размещением вдоль двух противоположных стен

Настенные громкоговорители в прямоугольных помещениях большой площади допустимо расставлять на противоположных стенах, в любом порядке с шагом, определяемым половиной расстояния до противоположной стены, $b/2$, м:

$$Ш=2R$$

$$R = b/2 \tan \frac{ШДН}{2} \quad (22)$$

где b – ширина помещения, рис. 10.

При ШДН=90°, $R = b$:

Проверочное условие 6

Громкоговоритель, с учетом ШДН должен пробивать половину расстояния до противоположной стены, рис.14.

Эффективная дальность, для произвольной ШДН:

$$D > \frac{b/2}{\cos \frac{ШДН}{2}} \quad (23)$$

Для ШДН= 90°:

$$D > b/\sqrt{2}$$

Учет высоты установки, осуществляется аналогично ф-ле (18).

Расстановка громкоговорителей в помещениях со сложной конфигурацией

Озвучиваемое (проектируемое) помещение анализируется, разбивается на отдельные участки, для каждого из которых подбирается соответствующая схема расстановки, из вышеперечисленных. Основная задача, при этом, сводится к оптимальной стыковке отдельных участков.

Литература

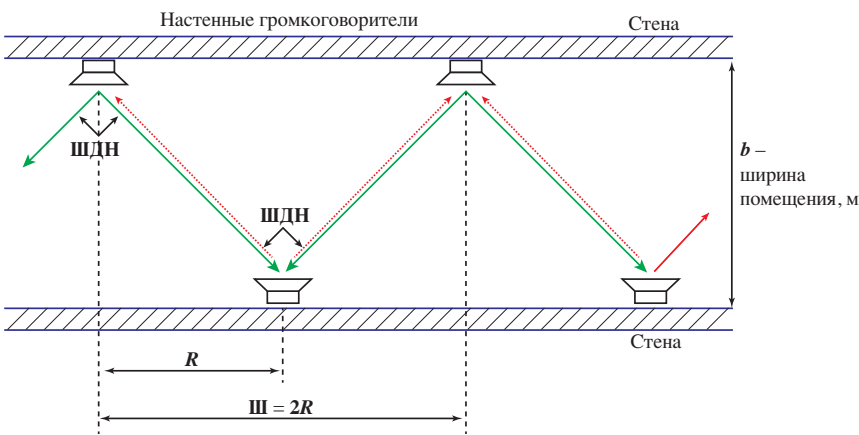
- Свод правил СП-3-13130-2009 от 2009 г. «Требования пожарной безопасности к звуковому и речевому оповещению и управлению эвакуацией людей».

- Кочнов О. В. «Особенности проектирования систем оповещения» (Муром, издательство Ковалгин, 2012).

- Кочнов О.В. «Проектирование систем оповещения» (Тверь 2016г, Том 1).

Рис. 8. Расстановка настенных громкоговорителей с учетом отражений

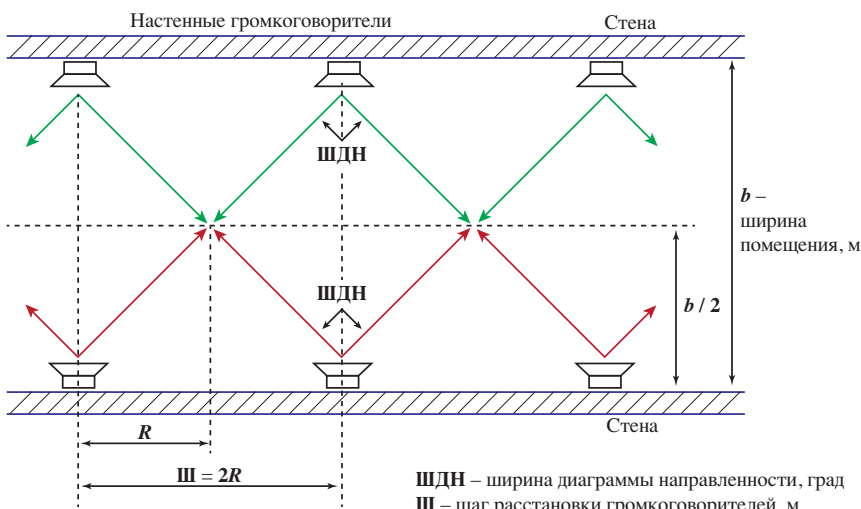
Озвучиваемое помещение. Вид сверху



ШДН – ширина диаграммы направленности, град
Ш – шаг расстановки громкоговорителей, м
R – радиус окружности, м

Рис. 9. Расстановка настенных громкоговорителей в прямоугольных помещениях, с размещением вдоль двух противоположных стен в шахматном порядке

Озвучиваемое помещение. Вид сверху



ШДН – ширина диаграммы направленности, град
Ш – шаг расстановки громкоговорителей, м
R – радиус окружности, м

Рис. 10. Расстановка настенных громкоговорителей в прямоугольных помещениях, с размещением вдоль двух противоположных стен